

John Morris Vale Pereira

**PROSPECÇÃO, VALORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO IMPACTE
AMBIENTAL DOS DEPÓSITOS DE CAULINO DE CASAL DOS
BRAÇAIS E MOSTEIROS ESTREMADURA.**



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

**Departamento de Geologia Centro de Geologia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Porto 2003**

Tese de Mestrado em Prospeção e Avaliação de Recursos Geológicos

A Presidente do júri
Helena Couto

John Morris Vale Pereira

**PROSPECÇÃO, VALORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO IMPACTE
AMBIENTAL DOS DEPÓSITOS DE CAULINO DE CASAL DOS
BRAÇAIS E MOSTEIROS – ESTREMADURA.**



FC

Reg. 2026
Cota 550.8:504
(0432)/PERJ/P

FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Geologia – Centro de Geologia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Porto – 2003

Tese de Mestrado em Prospeção e Avaliação de Recursos Geológicos

22/11/06

Temo le westralo

22/11/06 22:11:06

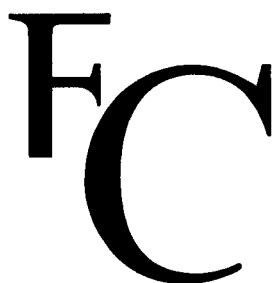
22/11/06 22:11:06

22/11/06 22:11:06

22/11/06 22:11:06

**“O trabalho tem uma raiz
amarga mas o fruto é
saboroso...”**

Joaquim Costa, mineiro em Vieiros (Amarante)



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Prospeção e Avaliação de Recursos Minerais, realizada sob a orientação científica do Dr. Iuliu BOBOS, Professor Auxiliar do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto.



FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

O júri

Presidente - Doutora Maria Helena Macedo COUTO

**Professora Associada da Faculdade de
Ciências da Universidade do Porto**

Doutor Iuliu BOBOS

**Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências
da Universidade do Porto**

Doutor José Bernardo Rodrigues BRILHA

**Professor Auxiliar da Escola de Ciências da
Terra da Universidade do Minho.**



Agradecimentos

Obrigado Professor Doutor Iuliu Bobos pela sua orientação e por todas as críticas que permitiram a elaboração desta tese de forma a ter sempre a ciência em primeiro lugar, por me ter apresentado as dificuldades de um trabalho científico, sem as ultrapassar por mim e contribuindo muito para a minha formação pessoal e académica.

Ao Professor Doutor Fernando Noronha que durante a minha Licenciatura me ensinou o que era um “ortogeólogo” e por todos os ensinamentos que me transmitiu para a minha vida como geólogo. Agradeço também a prontidão com que resolveu alguns problemas de gabinete que até então pareciam irresolúveis.

À empresa SAIBRAIS – Areias e caulinos S.A. do Grupo Denain-Anzin Minéraux (D.A.M.), em especial ao Doutor Marcel Pouliquen pelo apoio dado, mesmo durante as fases mais complicadas dos projectos em que nos encontramos, ao Hubert Sauvage, à Melanie Picot e ao Engenheiro Paulo Pedro pelo apoio prestado na recolha de dados sobre as explorações.

Ao Doutor Alexandre Lima e ao Engenheiro Rui Moura pelos contributos científicos e opiniões que tornaram mais claras algumas ideias.

Ao Doutor José Grade, ao Doutor Armando Moreira e ao Doutor Álvaro Oliveira pela disponibilidade na fase inicial de pesquisa bibliográfica.

Aos colegas de mestrado e amigos José Mota, Luís Gonçalves, Paulo Ferraz que me acompanharam de perto, e em especial ao Raul Xastre por tudo que teve de passar durante elaboração desta tese como meu colega diário de trabalho e ao Carlos Almeida por ter mais uma vez contribuído com a determinação e espírito necessário terminar um trabalho que se poderia arrastar indefinidamente.

E finalmente aos meus amigos que mesmo sem saberem me ajudaram, nos momentos mais duros da fase final deste trabalho, o meu obrigado.



Resumo

Palavras chave: prospecção e avaliação, mineralogia, geoquímica de elementos traço e terras raras, depósitos de caulino, impacte ambiental, interacção rocha-água, Estremadura, Portugal .

Este trabalho, elaborado no âmbito do Mestrado em Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos, trata os métodos de prospecção e valorização de jazigos de caulino e avalia o impacte ambiental provocado por uma exploração. O Impacte ambiental é tratado ao nível da interacção rocha-água e ao nível tecnológico, contribuindo com a apresentação de alguns métodos de minimização e redução de impactes. Para tal, foram estudados os jazigos de caulino, de Casal do Braçais e Mosteiros, situados na Estremadura e concessionados à empresa SAIBRAIS – Areias e Caulinos, S.A.

Os métodos de prospecção, os parâmetros estratégicos e guias como o enquadramento geomorfológico e geológico, foram compilados e seleccionados de modo que a campanha de prospecção decorresse de uma forma organizada e dirigida para o estudo de depósitos de caulino. A diferenciação das fases de prospecção implicou, na fase inicial, o reconhecimento da área e a aplicação de métodos de referenciação geográfica e aquisição de dados (imagens raster, dados vectoriais e sistemas de informação geográfica) que permitiram que as fases seguintes fossem apoiadas em cartografia e topografia de pormenor. Foram aplicados métodos de campo como a prospecção litogeoquímica e hidroggeoquímica, no sentido de recolher dados para a fase final do estudo e interpretação dos resultados. Na fase final foi efectuado um breve estudo das reservas em associação com a situação económica determinando a viabilidade de uma exploração e o seu impacte ambiental.

O objectivo deste trabalho foi caracterizar a mineralogia e a geoquímica dos depósitos de caulino, a hidroggeoquímica das águas e de avaliar o impacte ambiental causado pela exploração. Para o referido estudo recorremos a métodos granulométricos, de difracção de raios X (DRX), ao microscópio electrónico de varrimento e micro análise por raios X (EDS/EDAX) e à espectrometria de massa por ICP-MS. As amostras escolhidas para a análise mineralógica por DRX, correspondem às fracções de $<45\ \mu\text{m}$ e de $<2\ \mu\text{m}$.



A mineralogia das rochas estudadas é essencialmente, caulinite, micas, quartzo e óxidos de ferro.

O estudo no microscópico electrónico de varrimento (MEV) foi realizado para as amostras de caulino de Casal dos Braçais. Encontram-se agregados de caulinite caracterizados por um hábito pseudo-hexagonal ou irregular. Em algumas amostras de caulino foram encontradas fases minerais cujas composições químicas têm valores elevados em SiO_2 ou em Al_2O_3 , sendo a composição independente da forma que apresentam.

Os resultados químicos obtidos para os “elementos maiores” estão bem relacionados com os dados de mineralogia. Os elementos “químicos traço”, apresentam baixos valores relativos, dentro da abundância destes elementos na crosta terrestre (clark), sem nenhum efeito de poluição da respectiva zona com metais tóxicos. Os valores dos “Elementos Terras Raras” (REE's) das fracções argilosas de $<45\ \mu\text{m}$, foram normalizados tendo em conta os valores de normalização condritica australiana apresentando uma anomalia positiva em Európio (Eu).

Do ponto de vista genético, os depósitos de caulino do tipo sedimentar ou redepositados, localizam-se na proximidade de maciços constituídos por granitos, gnaisses ou migmatitos que foram submetidos a forte alteração por acção da meteorização intensa que se verificou em determinados períodos geológicos.

O processo tecnológico associado à exploração tem um impacte ambiental, positivo ou negativo, dependendo dos campos de influência da exploração de um recurso mineral. Na legislação portuguesa as alterações ar, água, solos, subsolos, fauna e flora são consideradas componentes ambientais naturais, e a paisagem, património e poluição são componentes ambientais humanas.



Abstract

Key-words: kaolin, environment, rare earth elements, Estremadura, Portugal

The Master degree thesis points out on the methods and techniques for prospection and evaluation of kaolin deposits from Estremadura region (Portugal) and their environmental impact.

Two occurrences of sedimentary kaolin deposits from Estremadura region (Portugal) were mineralogical and geochemical investigated in order to evaluate the mass transfer to open-pit lakes and to tailings. Both kaolin deposits occur in very extensive drainage basin active during Mesozoic and Tertiary, which transported eroded metamorphic rocks. And then, deposited close to the ocean.

Several open-pit lakes appeared in each deposit after their exploitation of more than 20 years.

Fine fractions were separated either from kaolin rocks and from tailings. Particle size distributions of tailings was carried out by laser.

Water samples collected from open-pit lakes were filtrated and then the finest residuum was analysed. Electric conductivity and pH were measured in several sites from open-pit lakes and in leaching kaolin suspensions. Samples were mineralogical analyzed by X-ray diffraction. Major, trace and rare earth elements were determined by inductive-coupled spectroscopy techniques.

Mineralogy of kaolin rocks is constituted by mainly kaolinite \pm halloysite-7Å \pm iron oxides. Materials collected from tailing are constituted mainly by the finest grain particles of few micrometer diameters, whose mineralogy is characterized by kaolinite and non-crystallized phases of Si-Al.

Major elements show values relatively close to kaolin chemistry. Sr, Ba, Zr and Cr show values over the clark limit. Higher relatively values than abundance limit admitted for continental crust were found for Pb, probably being related to anthropogenic activity. Chondrite-normalized REE's pattern of kaolin samples exhibits a positive Eu-anomaly.



Chemistry of waters collected from open-pit lakes is characterised by a relatively high concentration of total Si and Na. Also, REE's were found physically mobilized in aqueous system.

The mobility of silica and REE's becomes more pronounced during a period of high-charge discharge. The *pH* of waters from open-pit lakes becomes weakly acid (3.8 to 4.5), as consequences of increases of Si dissolved concentrations.



Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice Geral	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Fotografias	xv
I - Introdução	1
1 - Apresentação do quadro estudado	2
2 - Objectivos	3
II - Métodos de trabalho	5
1 - Trabalho de campo	5
1.1 - Recolha de amostras	8
2 - Técnicas de laboratório	10
2.1 - Preparação granulométrica de amostras	10
2.2 - Preparação de amostras para análises de XRD	12
2.3 - Preparação de amostras para microscópio electrónico	13
2.4 - Métodos de análise	13
III - Técnicas de prospecção e valorização dos depósitos de caulino	23
1 - Prospecção de depósitos de caulino	23
1.1 - Introdução	23
1.2 - Fases de prospecção	24
1.3 - Riscos na fase de prospecção	28
1.4 - O cálculo de reservas mineiras	29
2 - Técnicas e métodos de prospecção	31
2.1 - Métodos mecânicos	31
2.2 - Métodos geofísicos	33
2.3 - Métodos geoquímicos	43
3 - Valorização de depósitos de caulino	53
3.1 - Extracção das areias cauliníticas	53
3.2 - Tratamentos do caulino	55
IV - Geologia Regional e Local	65
1 - Dados Geográficos e Geomorfológicos	65
2 - Enquadramento geológico e estrutural	69
2.1 - Geologia regional	72
2.2 - Neotectónica da região	81
2.3 - Geologia Local	88
V - Estudo Geológico dos Depósitos de Caulino	99
1 - Caracterização Estrutural dos Minerais Argilosos	99
1.1 - Sistemática dos minerais argilosos	101
1.2 - Grupo do Caulino-Serpentina	103
2 - Mineralogia dos depósitos de caulino	105
2.1 - Estudo Granulométrico	105
2.2 - Estudo Mineralógico	108
3 - Estudo geoquímico	119
3.1 - Análises químicas totais das fracções de <45 µm	119



3.2 - Análises de elementos traço das fracções de <45 µm.....	120
3.3 - Análises dos elementos terras raras (REE) das fracções de <45 µm.....	121
4 - Génese.....	123
VI - Impacte ambiental resultante do processo tecnológico.....	127
1 - Quadro legislativo.....	127
1.1 - Tipos de impacte ambiental	127
1.2 - Descritores Ambientais	131
2 - A Geologia na avaliação de impacte ambiental.....	147
2.1 - Água	150
2.2 - Ar	158
2.3 - Solos.....	161
3 - Avaliação de impacte ambiental.....	163
4 - Medidas de Minimização de Impactes.....	167
VII - Conclusões	177
VIII - Bibliografia.....	179
Anexos.....	185



Índice de Figuras

Figura 1 – Localização das amostras e dos pontos de emissão de efluentes líquidos, da mina de Casal dos Braçais (base topográfica de 1999).	6
Figura 2 – Localização das amostras e dos pontos de emissão de efluentes líquidos, da mina de Mosteiros (base topográfica de 2000).	7
Figura 3 – Difrakção de raios X.	14
Figura 4 – Possíveis planos de difrakção	14
Figura 5 – Componentes principais de um difractómetro de Raios X.	15
Figura 6 – Esquema da tocha utilizada no ICP-MS, adaptado de Thomas (2001).	18
Figura 7 – Esquema da constituição de um ICP-MS adaptado de Thomas (2001)	21
Figura 8 – Esquema de reconstituição de dados a partir de fotografias aéreas.	25
Figura 9 – Integração de dados entre dados geofísicos e mecânicos (adaptado de Versteeg, 1997)	33
Figura 10 – Exemplos de variação das propriedades físicas em materiais conhecidos (Versteeg, 1997)	34
Figura 11 – Ondas S e P	36
Figura 12 – Velocidades das ondas P em vários tipos de litologias, (USACE, 1995).	36
Figura 13 – Esquema de interpretação de dados que permite inferir alterações na topografia subterrânea (USACE, 1995).	37
Figura 14– Exemplo de um registo de refrakção e reflexão sísmica (USACE, 1995).	38
Figura 15 – Exemplo de dois perfis eléctricos aferidos por uma sondagem mecânica (Gião et al., 2002)	39
Figura 16 – Registo de radar evidenciando a topografia do firme rochoso coberto por areia fina (Davis, 1989).	41
Figura 17 – Mapa e diagrama 3D de condutividade eléctrica (Moura et al., 1999)	42
Figura 18 – Registo de Radar e comparação com estrutura à superfície (Moura et al., 1999)	42
Figura 19 – Mapas de apresentação de resultados de amostragens de sedimentos de linhas de água. A – Mapa de pontos, proporcionais à concentração de determinado elemento. B – Mapa de linhas, cuja espessura é proporcional à concentração de determinado elemento (Siegel, 1974)	47
Figura 20– Esquema de produção Casal dos Braçais.	59
Figura 21 – Esquema de produção Mosteiros.	59
Figura 22 – Enquadramento geográfico das áreas estudadas.	65
Figura 23 – Insolação Média da Região, (SAGA, 1995).	66
Figura 24 – Precipitação Média da Região, (SAGA, 1995).	66
Figura 25 – Direcções e frequências predominantes e intensidade media dos ventos na região, (SAGA, 1995).	67
Figura 26 – Cartografia de Portugal (Instituto Geológico e Mineiro). Enquadramento geológico e estrutural.	69
Figura 27 – Enquadramento Geológico (Carta Geológica de Portugal 1:50000 - IGM).	70
Figura 28 – Placa Ibérica no final do Jurássico. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).	73
Figura 29 – Placa Ibérica no final do Cretácico. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).	74

Figura 30 – Representação das direcções das paleocorrentes na Estremadura (Rey, 1972), durante: a) Berriasiano (144-137 Ma); b) Barremiano (127-121 Ma); c) Aptiano(121-112 Ma); d) Actualidade.	75
Figura 31 – Placa Ibérica durante Paleogénico Superior. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).	78
Figura 32 – Placa Ibérica durante Plio-Quaternário. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).	79
Figura 33 – Enquadramento tectónico-estrutural, adaptado de Wilson et al. (1989).	81
Figura 34 – Perfis esquemáticos da evolução tectónica da região, relacionados na tabela 11. 1 – Movimentos dos blocos; 2 – Direcções de compressão; 3 – Transgressões ou regressões; 4 – Origem dos sedimentos; 5 – Nível do mar. Adaptado (Barbosa et al., 1996).	84
Figura 35 – Evolução da plataforma marinha da Estremadura e representação das fases de sedimentação continental durante o Pliocénico. 1 – Nível tidal; 2 – Transgressões ou regressões; 3 – Movimentos dos blocos. Adaptado (Barbosa et al., 1996).	84
Figura 36 – Perfil E-W das formações desde a bacia do Tejo até Peniche (Berlengas).	85
Figura 37 – Coluna litológica dos depósitos sedimentares que afloram em Casal dos Braçais.	88
Figura 38 – Coluna litológica dos depósitos sedimentares que afloram em Mosteiros.	89
Figura 39 – Níveis estratigráficos com areias caulíníticas que afloram em Casal dos Braçais.	92
Figura 40 – Os níveis de areias caulíníticas e argilas vermelhas do depósito de Mosteiros.	95
Figura 41 – Tetraedro de sílica (SiO_4).	99
Figura 42 – Folha estrutural de gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) e de brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).	99
Figura 43 – Estrutura cristalóquímica da caulinite.	103
Figura 44 – Projecção dos valores das granulometrias dos produtos de Casal dos Braçais (azul) e Mosteiros (vermelho).	106
Figura 45 – Exemplos de distribuição dimensional bimodal dos grãos em Barqueiros, Esposende.	107
Figura 46 – Representação da relação caulinite-muscovite-quartzo dos dados da Tabela 16.	109
Figura 47 – Espectro de DRX das fracções <2 μm do caulino de Casal dos Braçais.	110
Figura 48 – Esquema da determinação do índice de cristalinidade de Hinckley.	111
Figura 49 – Espectros de DRX das fracções <45 μm dos caulinos de Casal dos Braçais.	112
Figura 50 – Espectros de DRX das fracções <45 μm do caulino de Mosteiros.	113
Figura 51 – Agregados de caulinite observados no MEV.	115
Figura 52 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma esférica e composta essencialmente por alumínio.	116
Figura 53 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma cúbica e composta essencialmente por sílica.	116
Figura 54 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma esférica e composta essencialmente por sílica.	117
Figura 55 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada num cristal de caulinite.	117



Figura 56 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada partícula pertencente a um feldspato a alterar em caulinite.	118
Figura 57 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa região que é caracterizada por se encontrar numa fase de dissolução de feldspato.	118
Figura 58 – projecção dos valores obtidos no diagrama ternário $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$	120
Figura 59 – Normalização de valores analisados de Elementos Terras Raras (McLennan, 1989).	122
Figura 60 – Relação entre recursos e reservas. A dimensão de uma dada reserva relativamente ao recurso total apresenta variáveis como a exploração, o preço, a tecnologia e os regulamentos políticos (Reedman, 1979)	148
Figura 61 – Mapa simplificado do enquadramento da exploração de Casal dos Braçais, no meio hídrico envolvente. De referir que a bacia hidrográfica é reduzida e deste modo os efluentes mineiros encontram-se próximos do Mar e da Lagoa de Óbidos.	152
Figura 62 – Mapa simplificado do enquadramento da exploração de Mosteiros, no meio hídrico envolvente. De referir que pertence à bacia hidrográfica do Tejo.	154
Figura 63 – Normalização condritica de REE's em amostras de água (PASS).	156
Figura 64 – Exemplos de dados que servem como situação de referência.	163



Índice de Tabelas

Tabela 1 – Amostras de rochas seleccionadas.....	8
Tabela 2 – Valores de pH e conductividade eléctrica das amostras de água recolhidas das lagoas.....	9
Tabela 3 – Amostras de água seleccionadas para análises químicas.....	9
Tabela 4 – Programa de prospecção geológica e mineira.....	27
Tabela 5 – Fases e métodos de prospecção, e os riscos associados (Reedman, 1979).	28
Tabela 6 – Trabalhos de prospecção geológica e os resultados da prospecção obtidos no depósito de caulino Mosteiros.....	30
Tabela 7 – Cálculo de reservas mineiras para Mosteiros.....	30
Tabela 8 – Aplicabilidade dos métodos geofísicos para situações típicas na prospecção de caulino (adaptado de Versteeg, 1997).....	35
Tabela 9 – Resistividades eléctricas típicas para algumas litologias.....	38
Tabela 10 – Síntese tectonoestratigráfico da região da Estremadura.....	80
Tabela 11 – Síntese da evolução tectónica da Península-Ibérica durante os últimos 230 Ma.....	83
Tabela 12 – Sistemática dos minerais argilosos (Bailey, 1996).....	101
Tabela 13 – Distribuição granulométrica das partículas minerais nos produtos de Casal dos Braçais e Mosteiros.....	106
Tabela 14 – Dados comparativos de análises de difracção de Raios X de caulinite de Casal dos Braçais (Portugal) e de Scalby (Yorkshire Inglaterra)* (JCPDS-ICDD; card nº: 14 – 164).	108
Tabela 15 – Composição mineralógica percentual das fracções <45 µm.....	109
Tabela 16 – Índice de cristalinidade da caulinite de Casal dos Braçais e de Mosteiros.	111
Tabela 17 – Análises químicas de elementos maiores da fracção <45 µm.....	119
Tabela 18 – Análises químicas de elementos traço (ppm) nas fracções <45 µm.....	121
Tabela 19 – Análises químicas de elementos terras raras (ppm) das fracções <45 µm.	122
Tabela 20 – Análises químicas de elementos traço em amostras de água, µg/l (ppb).155	
Tabela 21 – Análises químicas de Terras Raras em amostras de água, valores em µg/l (ppb).	156



Índice de Fotografias

Fotografia 1 – Agitador mecânico do laboratório da mina de Casal dos Braçais.....	10
Fotografia 2 – Difractómetro de Raios X modelo Philips (U. Aveiro).....	15
Fotografia 3 – Microscópio electrónico de varrimento equipado com espectrómetro de energia dispersiva de raios X (SEM/EDAX).....	16
Fotografia 4 – Levantamento topográfico com estação total.....	26
Fotografia 5 – Sondagem à precursão.....	32
Fotografia 6 – Lotes de terras de cobertura.....	53
Fotografia 7 – Exploração em bancadas.....	54
Fotografia 8 – Lotes de estéril.....	54
Fotografia 9 – Da direita para a esquerda, tromel e crivos de selecção granulométrica.....	55
Fotografia 10 – Hidrociclone.....	56
Fotografia 11 – Tanques de floculação e pormenor da floculação a ocorrer dentro do cilindro principal do tanque de floculação.....	57
Fotografia 12 – Base colectora do tanque de homogeneização.....	57
Fotografia 13 – Da esquerda para a direita, secador, filtros prensa e lotes de caulino.....	58
Fotografia 14 – Camada com alternâncias de areias e argilas (Casal dos Braçais).....	91
Fotografia 15 – Estratificação cruzada nas camadas de areias cauliníticas (no topo do depósito).....	92
Fotografia 16 – Camada de carvão.....	93
Fotografia 17 – Intercalações dos níveis de carvão entre os níveis de argilas ferrolíticas.....	93
Fotografia 18 – Aspecto da arcose e camada de ferrolítica.....	96
Fotografia 19 – O clima é condicionado pela proximidade do mar (depósito de Casal dos Braçais).....	131
Fotografia 20 – Alteração da morfologia do terreno em Casal dos Braçais.....	132
Fotografia 21 – Alteração da morfologia em Mosteiros a partir de ortofotomapa (CNIG, 1995).....	132
Fotografia 22 – Utilização de solos em Casal dos Braçais (1 - Plantações de eucalipto; 2 - Terreno não trabalhado; 3 - Terreno cultivado; 4 - Terreno florestado; 5 - Terreno arado).....	133
Fotografia 23 – Vista de Casal dos Braçais a partir do clube de golf da Serra Del Rey.....	135
Fotografia 24 – Impacte visual reduzido da mina de Mosteiros.....	135
Fotografia 25 – Efluentes líquidos da bacia de decantação de Casal dos Braçais. Em 2002 os resíduos líquidos eram decantados e lançados na linha de água. A partir de 2003 o sistema passou a reciclar a água industrial, passando a uma situação de não emissão de efluentes.....	136
Fotografia 26 – Lagos de exploração e inserção no nível freático.....	137
Fotografia 27 – Emissão de poeiras devido à circulação de viaturas em estradas de terra batida.....	139
Fotografia 28 – Fontes de ruído nas explorações de caulino.....	140
Fotografia 29 – Aspecto das plantas a uma distância de 50 metros das estradas (A) e junto às estradas (B).....	142



Fotografia 30 – O Castelo de Alcanede é um exemplo de estruturas edificadas, que devem ser preservadas durante uma exploração mineira. Neste caso a distância é considerável e o impacte é considerado nulo.....	144
Fotografia 31 – Circulação de veículos pesados em zonas urbanas.	145
Fotografia 32 – Exemplo de fitoremediação numa lagoa de exploração.	146
Fotografia 33 – Método de reciclagem de água industrial em Casal dos Braçais. A água que resulta da lavagem das areias e do tratamento dos caulinos volta para o sistema, depois de ser decantada, tornando-o fechado e livre de emissões de efluentes.	151
Fotografia 34 – Interior das instalações de tratamento do caulino.....	160
Fotografia 35 – Aspecto de plantação prejudicada pelas poeiras.....	161



I - Introdução

Este trabalho, elaborado no âmbito do Mestrado em Prospeção e Avaliação de Recursos Geológicos, aborda os métodos de prospeção e valorização de jazigos de caulino e avalia o impacte ambiental provocado por uma exploração a céu aberto. Também contribui com algumas sugestões de métodos de minimização e redução de impactes.

Devido à conjuntura ambiental em Portugal e na Europa, foi dada alguma importância ao quadro base da legislação ambiental actual, adaptando as informações recolhidas às normas e nomenclaturas dos tipos de impactes e descritores ambientais reconhecidos pela legislação. A ligação do estudo científico com as necessidades tecnológicas é um parametro presente neste estudo.

A avaliação de impacte ambiental dos depósitos de caulino, visa unicamente estudo dos descritores associados à geologia e contribui com informações que usualmente não são tidas em conta aquando o estudo geológico-ambiental.

Em Portugal existem numerosos depósitos de caulino, em especial nas regiões do litoral, os quais são explorados há varias décadas, imprimindo em algumas regiões uma certa tradição da indústria cerâmica e do papel. Os caulinos em Portugal são de origem sedimentar e residual, sendo explorados a céu aberto. O tipo de exploração, imprimiu na comunidade empresarial a centralização dos impactes ambientais no impacte paisagista devido às áreas de exploração. No sentido de mostrar outros impactes associados a este tipo de explorações, esta tese pretende utilizar dados da geologia para mostrar alguns impactes a nível da água e do solo. O objectivo específico desta tese é estudar a interface rocha-água, permitindo identificar qual é a transferência dos elementos químicos do caulino para o meio ambiente que, eventualmente, possam provocar algum tipo de poluição ou contaminação da região.



Em termos históricos os depósitos de caulino em Portugal foram estudados por numerosos investigadores: Coteló Neiva et al. (1943), Gomes (1986), Grade et al. (1981) e Barbosa (1973). A primeira Tese de Doutoramento realizada sobre argilas de Portugal, na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto pela Doutora Julieta dos Santos Pereira em 1944. Passados 60 anos volta-se a publicar na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto um trabalho sobre argilas.

1 - Apresentação do quadro estudado

Os jazigos de caulino estudados encontram-se concessionados à empresa "SAIBRAIS Areias e Caulinos S.A." com sede em Casal dos Braçais, Amoreira Óbidos. Esta empresa resultou da fusão das duas filiais portuguesas do Grupo Minéral Harwanne, a Cauliminas detida em 1989 e a Saibraís detida em 1992. A empresa explora os dois jazigos estudados, um situado na Mina de Mosteiros, concelho de Alcanede e outro Na Mina de Braçais, concelho de Óbidos, respectivamente concessões C-3 e C-19 atribuídas pelo IGM. No ano 2002 a produção da Saibraís totalizou 40 mil toneladas de caulinos, 250 mil toneladas de areia e 50 mil toneladas de argila vermelha, produção destinada às indústrias da cerâmica, da construção civil e das obras públicas.

O Grupo Harwanne fez importantes investimentos nas duas minas, com vista à optimização da constância dos produtos. A instalação de secadores nas duas unidades em 1995 permitiu à Saibraís aventurar-se na exportação para mercados que requerem produtos de elevada qualidade.

A extracção efectua-se a céu aberto e o minério é transportado até uma unidade de tratamento onde é constituído um stock prévio. Estas operações são objecto de um controlo de qualidade com vista a caracterizar os lotes do mineral em função da qualidade do caulino a produzir. Os diferentes lotes de mineral passam em seguida para a sequência de processos que envolvem a lavagem, delaminação, hidrociclonagem, decantação, homogeneização, filtragem, prensagem, secagem e armazenamento para expedição do produto final beneficiado.



Em termos do impacte ambiental provocado pela actividade mineira, a legislação nacional obriga ao controlo e monitorização de todos os pontos de impacte ambiental provocados por uma exploração mineira. É de todo o interesse integrar a geologia como um dos factores importantes de controlo ambiental e também como um meio de aplicação de métodos de minimização de impacte quer a nível da actividade geológico-mineira, quer a nível paisagista.

2 - Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é mostrar a aplicação dos métodos de prospecção e dos estudos geológicos para rentabilizar os processos de valorização e utilizar os resultados para avaliar e monitorizar os impactes provocados pelas explorações de caulino, nomeadamente nos jazigos de Casal dos Braçais e Mosteiros (Estremadura).

Os métodos de prospecção geológica num depósito de caulino são abordados neste estudo e encontram-se estruturados de um modo generalista, não exclusivo do processo aplicado nos depósitos estudados, permitindo o enquadramento em qualquer situação, fase ou estado de um projecto.

A valorização de um depósito de caulino é outro ponto importante deste trabalho que visa o seu estudo de uma forma detalhada do ponto de vista químico-mineralógico e tecnológico. Pretende-se que seja possível utilizar a prospecção para rentabilizar a produção, adaptando as técnicas de valorização de acordo com os resultados, sem desperdícios de minério de qualidade excelente.

A caracterização mineralógica e geoquímica dos depósitos de caulino e hidrogeoquímica das águas, foi abordada com o objectivo de avaliar o impacte ambiental causado pela exploração. Para tal, recorreu-se a métodos granulométricos, de difracção de raios X (DRX), ao microscópio electrónico de varrimento e microsonda electrónica, assim como à espectrometria de massa por ICP-MS.



Por fim, o impacto ambiental provocado por uma exploração mineira é estudado neste trabalho de um ponto de vista geológico, essencialmente direccionado para o entendimento dos mecanismos de transferência das partículas finas (às vezes dispersas em vários meios) e dos elementos químicos constituintes das rochas para o ambiente. O estudo concentra-se nos pontos de interface rocha-água, rocha-solo e rocha-ar, tentando explicar a transferência de alguns elementos químicos e ou partículas coloidais para águas, solos ou mesmo ar. Uma das consequências mais está relacionada com o processo de acidificação das águas superficiais e uma eventual lixiviação de "elementos traço" e "elementos terras raras" para o meio aquoso.



II - Métodos de trabalho

1 - *Trabalho de campo*

O trabalho de campo dirige-se essencialmente para o estudo de prospecção e avaliação dos depósitos de caulino, de Casal dos Braçais e de Mosteiros, no sentido de avaliar o impacte ambiental da exploração mineira. A cartografia e a topografia são elementos bem conhecidos devido à exploração em curso.

As amostragens decorreram dentro da exploração (Fig. 1 e 2), com o objectivo de caracterizar a mineralogia e geoquímica dos depósitos de caulino, assim como a hidrogeoquímica e avaliar o impacte ambiental causado pela exploração.

As amostras de rocha foram recolhidas a martelo e pá, e embaladas em sacos de plástico. Foram recolhidas duas séries de amostras, primeira em Braçais e segunda em Mosteiros (Tab. 1). Recolheram-se 2,5 kg de rocha em cada amostra para efectuar análises mineralógicas e químicas.

As amostras de água foram tratadas com cuidado, de modo a não serem contaminadas. Para isso foram utilizados recipientes de plástico, de 250 ml para as amostras listadas na Tabela 2 e em garrafas de vidro de 1 Lt e 500 ml para as amostras listadas na Tabela 3. Todas as amostras foram recolhidas em situação de lavra activa, nas lagoas das frentes de exploração e nas bacias de decantação. Não foram efectuadas recolhas em dias de chuva nem nos dois dias seguintes, de modo a não diluir as concentrações dos elementos presentes.

A recolha de amostras de água respeitou as normas impostas por Guerreiro e Brito Pereira (2002).

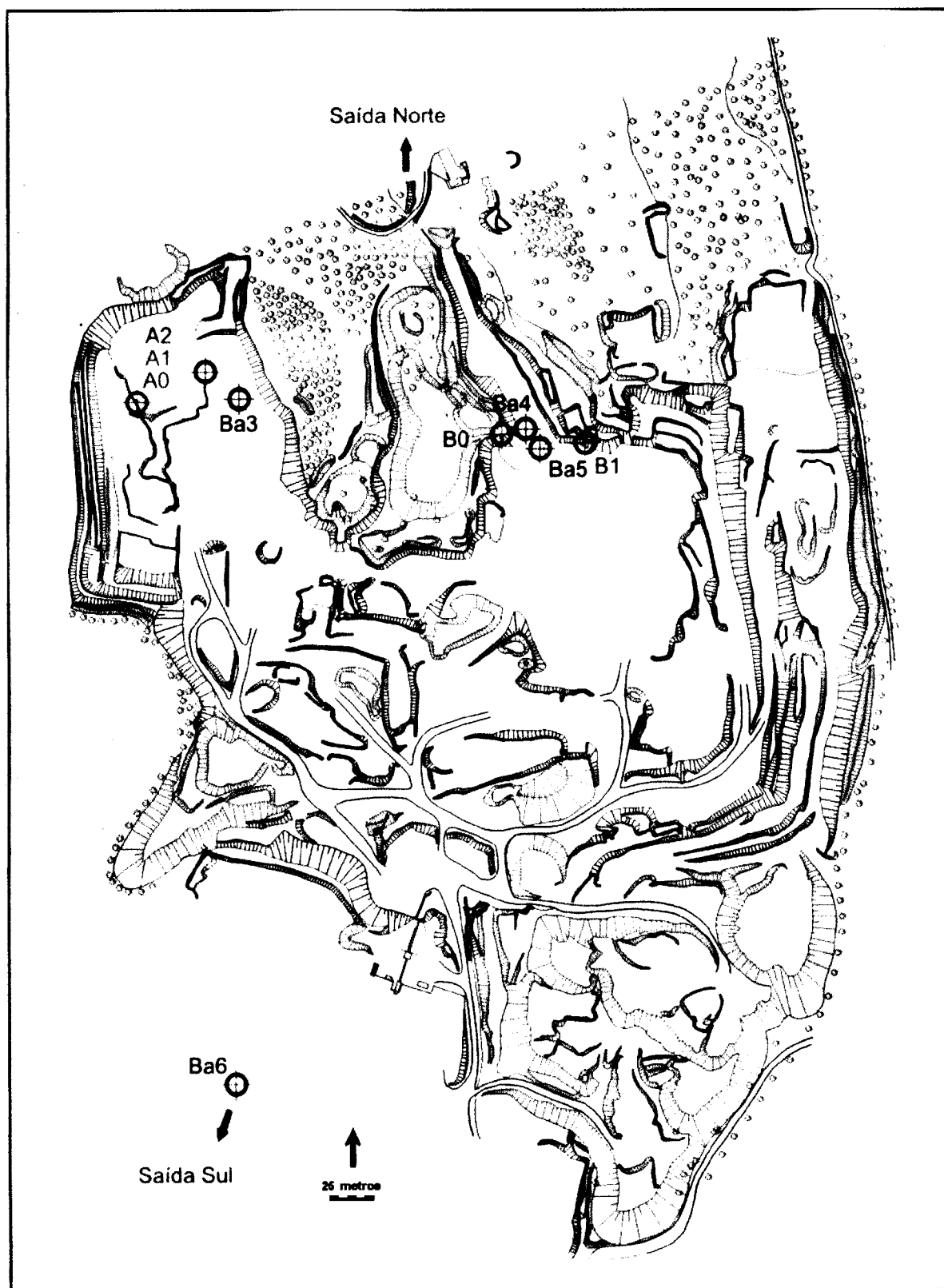


Figura 1 – Localização das amostras e dos pontos de emissão de efluentes líquidos, da mina de Casal dos Braçais (base topográfica de 1999).

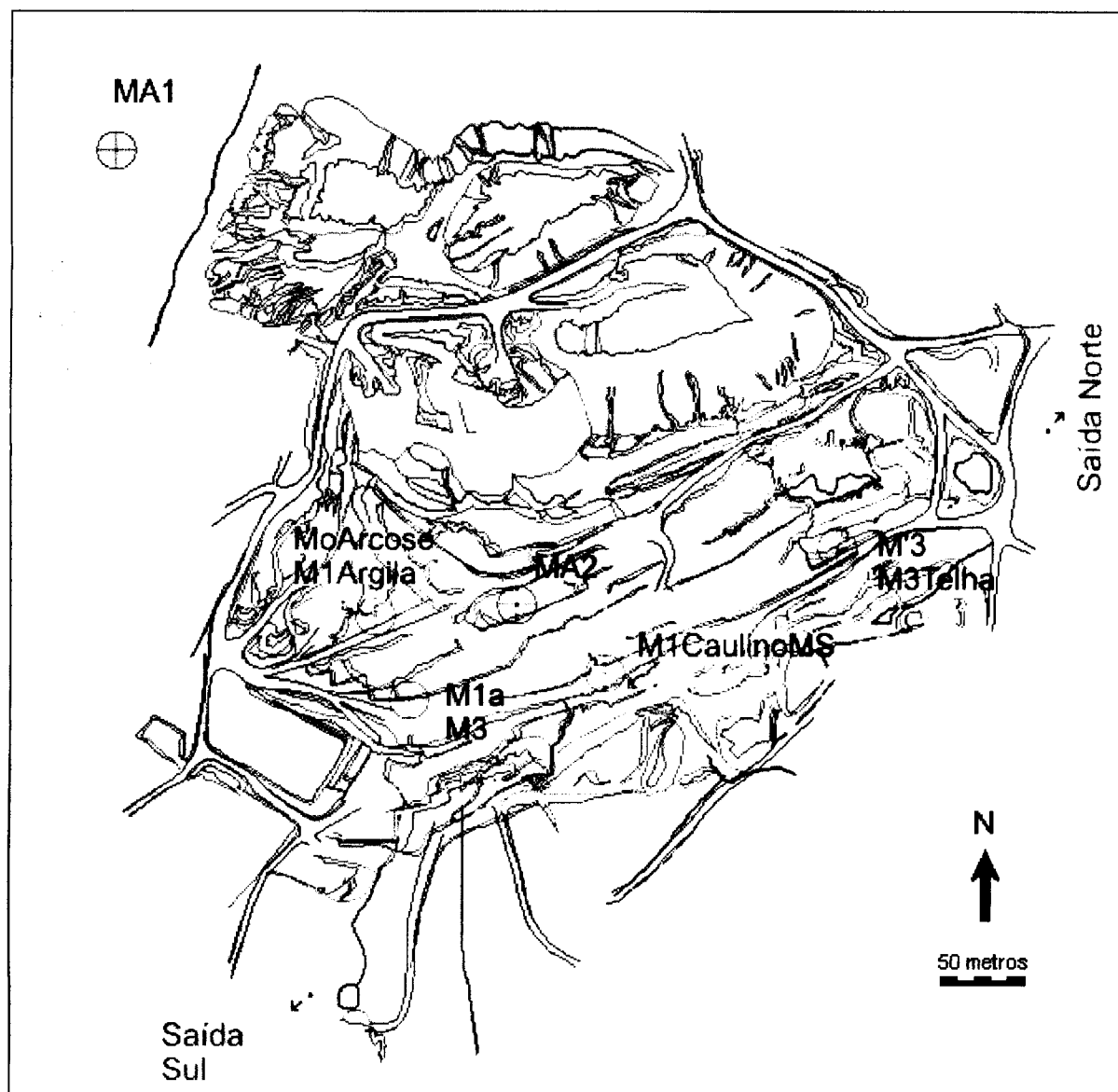


Figura 2 – Localização das amostras e dos pontos de emissão de efluentes líquidos, da mina de Mosteiros (base topográfica de 2000).



1.1 - Recolha de amostras

1.1.1 - Rochas

Para este trabalho recolheram-se 70 amostras que foram avaliadas de modo a seleccionar um conjunto representativo de litologias para serem analisadas do ponto de vista químico e mineralógico. As amostras listadas na Tabela 1 foram as seleccionadas de modo a abranger os níveis litológicos presentes em cada jazigo e desse modo tentar caracterizar do ponto de vista mineralógico e geoquímico cada tipo de rocha.

Tabela 1 – Amostras de rochas seleccionadas.

BRAÇAIS		MOSTEIROS	
Amostra	Descrição	Amostra	Descrição
A ₀	Areia caulínítica	M ₀ Arcose	Arcose caulinizada
A ₁	Argila caulínítica amarela	M ₁ Argila	Argila caulínítica vermelha
A ₂	Argila caulínítica vermelha	M _{1a}	Areia caulínítica
B ₀	Areia caulínítica	M ₁ Caulino(MS)	Areia caulínítica
B ₁	Areia caulínítica	M ₃	Areia caulínítica
B e B2	Rejeitados de produção (tailings)	M' ₃	Argila caulínítica vermelha
		M ₃ Telha	Argila caulínítica vermelha
		M	Rejeitados de produção (tailings)

1.1.2 - Águas

Com o objectivo de cobrir todos os pontos de possíveis emissões de poluentes para o meio ambiente, recolheu-se uma amostra em cada local de acumulação de água e uma amostra de 1 Lt em cada ponto de emissão de água para o meio ambiente.

Nas amostras listadas na Tabela 2 foram efectuadas medidas de pH e de condutividade eléctrica. As da Tabela 3, foram recolhidas nos mesmos locais (Fig. 1), mas pretendia-se recolher uma quantidade maior de água para a análise de compostos orgânicos, portanto não foram efectuadas medidas de pH nem de condutividade eléctrica.



Tabela 2 – Valores de pH e condutividade eléctrica das amostras de água recolhidas das lagoas.

BRAÇAIS			MOSTEIRO		
Amostra	pH	ρ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Amostra	pH	ρ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
B _A 1	4.80	370	M _A 1	5.60	26
B _A 2	4.95	230	M _A 2	7.80	100
B _A 3	5.04	180			
B _A 4	5.50	112			
B _A 5	5.50	115			
B _A 6	5.50	237			
Lab	7.15	195			

Tabela 3 – Amostras de água seleccionadas para análises químicas.

BRAÇAIS		MOSTEIRO	
Amostra	Laboratório	Amostra	Laboratório
B _O "1	B _O '1	M _O "1	M _O '1
B _O "2		M _O "2	
B _O "3	B _O '2	M _O "3	M _O '2
B _O "4		M _O "4	
B _O "5	B _O '3	M _O '3	
B _O "6		M _O '4	



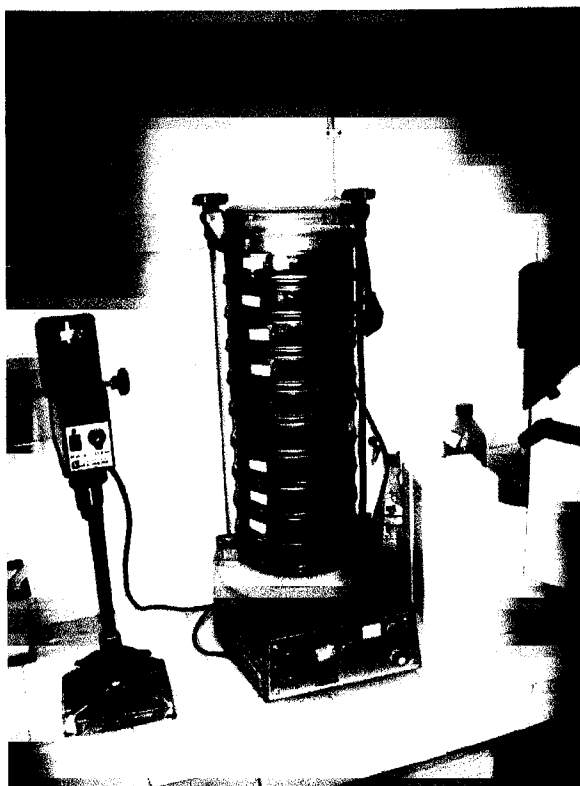
2 - Técnicas de laboratório

A aplicação das técnicas e métodos laboratoriais visaram a obtenção de dados que permitissem obter conclusões em termos de resultados e respectivas comparações com dados de referência. E também permitissem um conhecimento mais profundo de índole técnico-científica sobre os materiais analisados

2.1 - Preparação granulométrica de amostras

2.1.1 - Peneiramento

Procedeu-se numa primeira etapa à secagem das amostras, dispondo-as em tabuleiros e secando-as em estufa à temperatura de 110 °C. Seguidamente procedeu-se ao fraccionamento granulométrico das amostras através de crivagem por via seca, utilizando um agitador mecânico (Foto. 1) e um conjunto de peneiros da Série ASTM. Avaliou-se de seguida a percentagem, relativamente ao peso global da amostra inicial, do peso das componentes de grão inferior a <63 µm.



Fotografia 1 – Agitador mecânico do laboratório da mina de Casal dos Braçais.



2.1.2 - Separação das fracções de <45 micrómetros (μm)

Das amostras de rocha seleccionadas utilizaram-se 500 grama de cada amostra, para separar as granulometrias <60 μm e <45 μm , guardando-se o restante. Foi necessário recorrer à lavagem das rochas recolhidas de modo a separar a fracção mais grosseira, da mais fina e da suspensão.

Ao lavar os sedimentos com água destilada, separou-se a suspensão, da primeira lavagem de cada amostra e armazenou-se num copo de vidro de 1 Lt. Seguidamente fez-se passar as suspensões seguintes pelo crivo de <45 μm , repetindo o processo de lavagem até a água de lavagem dos sedimentos se apresentar limpa.

De cada amostra resulta, uma fracção crivada (<45 μm), uma fracção que não passou no crivo (<60 μm) e sedimentos grosseiros. A fracção <45 μm , foi decantada durante 1 semana e levada a secar numa estufa a 80 °C. A fracção <60 μm , foi colocada a secar, numa estufa a 80 °C, directamente do crivo de 45 μm . Não sendo objecto de estudo a fracção areia, foi rejeitada e guardada.

As amostras separadas de <45 μm serviram para análises mineralógicas e químicas.

2.1.3 - Extracção das fracções <2 μm

A deposição da fracção argilosa (<2 μm) presente nas amostras recolhidas, baseia-se na "Lei de Stokes" que fornece a seguinte expressão para a queda de partículas esféricas num fluido em repouso:

$$V = \frac{2r^2}{9v} \times (G_s - G_f) \times g$$

Em que:

r = raio da partícula

v = viscosidade do líquido

G_s = peso específico da argila

G_f = peso específico do líquido

g = aceleração da gravidade



Esta expressão é válida para partículas esféricas e se o movimento do fluido for laminar, deixando de ter aplicação para partículas de diâmetro inferior a 0.002 mm para as quais é necessário considerar o movimento Browniano das partículas de carácter coloidal.

Importa referir que, a queda das partículas de argila não obedece rigorosamente à lei de Stokes porque as partículas não são esféricas, mas sim lamelares ou fibrosas, porque possuem cargas eléctricas e ainda porque a sua queda não é perfeitamente livre.

A partir da relação antes referida, é possível determinar as profundidades atingidas quando decorridos certos intervalos de tempo, por partículas com determinado diâmetro esférico equivalente, quando caem no seio duma suspensão sob o efeito da gravidade.

Deve ser adicionado desfloculante (normalmente hexametáfosfato de sódio (Na_3PO_4)₆, comercialmente denominado "*calgon*", ou metassilicato de sódio (NaSiO_3) à dispersão de argila em água destilada e desionizada, em quantidade adequada para que a suspensão resulte devidamente desfloculada. Para o efeito, a concentração de sólidos da suspensão não deve ser superior a 5 %, em peso/volume (Binder, 1973).

2.2 - Preparação de amostras para análises de XRD

A difracção de raios X é o método mais utilizado na identificação e caracterização dos minerais argilosos. As fracções de <45 µm foram isoladas por via húmida e seguidamente secas em estufa a temperatura de 90 °C. As fracções de <2 µm foram obtidas por sedimentação. O material sob a forma de pó das fracções de <45 µm e de <2 µm foram montadas nos porta-amostras "standard" de alumínio, como agregados apenas não orientadas. Essa técnica foi utilizada para estudar as características estruturais (ordem-desordem, cristalinidade) da caulinite e para permitir a identificação e a quantificação dos minerais presentes.

As amostras foram analisadas com um difractómetro de raios X do tipo "Philips X'Pert", utilizando uma ampola de cobre cuja radiação foi de Cu $\text{K}\alpha$, monocromatizada por filtro de Ni. A intensidade de radiação utilizada foi de 40 nA e uma tensão de 20 kV. A velocidade de rotação do goniómetro de 5 segundos por 2θ.



2.3 - Preparação de amostras para microscópio electrónico

O estudo morfológico dos agregados de caulinite foi realizado com um microscópio electrónico de varrimento do tipo "Jeol GSM 6314", equipado com um micro-analisador de energia dispersiva de raios X. As amostras granulares da rocha caulinítica foram coladas com uma cola especial (Araldite) num porta-amostras de alumínio. As amostras foram secas numa estufa, à temperatura de 80 °C durante dois dias, tendo depois sido cobertas com carbono.

2.4 - Métodos de análise

2.4.1 -Difracção de raios X (DRX)

Os RX são produzidos quando electrões de alta energia deslocando-se a alta velocidade embatem nos átomos da matéria. Este processo pode ocorrer de dois modos distintos (Vaniman, 1999):

A – Um electrão altamente energético pode embater e deslocar um electrão localizado nas camadas profundas da estrutura de um átomo, ionizando o átomo.

B – O electrão de alta energia e velocidade em vez de colidir com um electrão interno do átomo, é desacelerado ao passar pelo forte campo eléctrico existente junto ao núcleo do átomo.

A radiação produzida é independente da natureza do átomo bombardeado e aparece como uma banda de comprimentos de onda variando continuamente.

Se a teoria de Bravais estava certa, se a matéria cristalina era constituída por uma rede triperiódica de dimensões diminutas, seria possível utilizar os cristais como rede de difracção de malha reduzida.

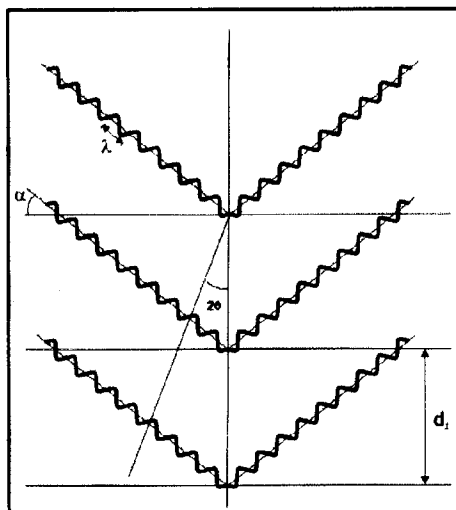


Figura 3 – Difracção de raios X.

A difracção de raios X por um cristal é uma propriedade das radiações electromagnéticas que ocorre de modo descontínuo, segundo direcções bem definidas das distâncias reticulares do cristal e do comprimento de onda da radiação usada (Vaniman, 1999).

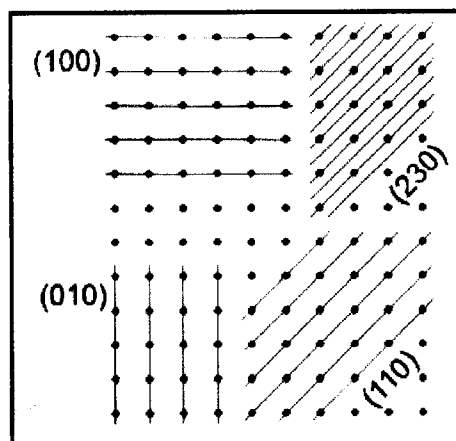


Figura 4 – Possíveis planos de difracção

Uma rede cristalina é uma distribuição regular tridimensional (cúbica, rômica, etc.) de átomos no espaço. Estes estão dispostos numa série de planos paralelos entre si, separados por uma distância d ; a qual varia conforme a espécie de mineral. Para cada mineral, existem planos com diferentes orientações, cada uma, com uma distância d particular (Borges, 1980).



Fotografia 2 – Difractómetro de Raios X modelo Philips (U. Aveiro).

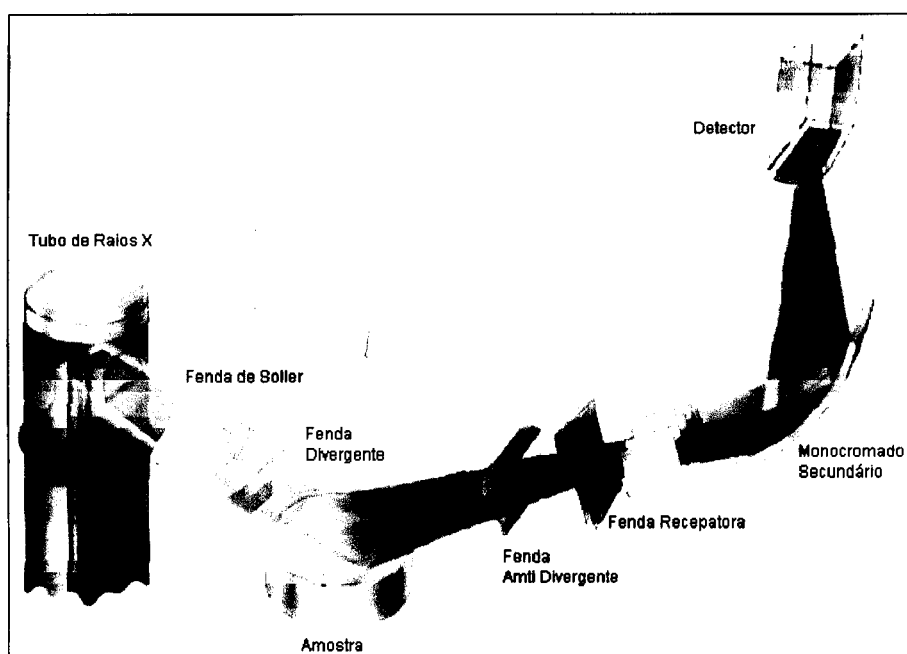
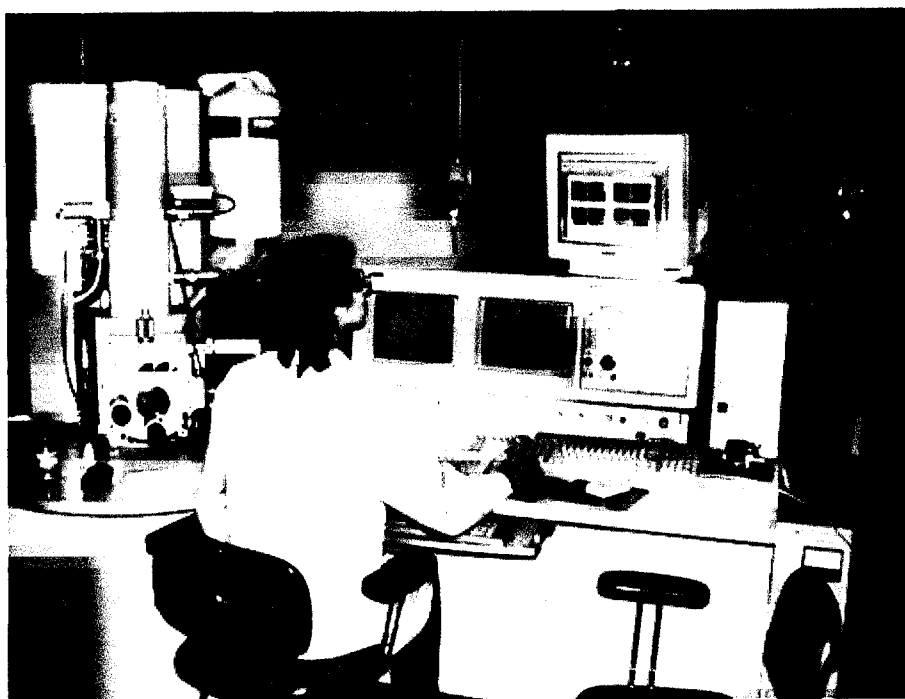


Figura 5 – Componentes principais de um difractómetro de Raios X.

Os difractogramas obtidos foram interpretados com base nos ficheiros do JCPDS (Joint Committee for Powder Diffraction Standards) que contêm dados estruturais retirados de difractogramas de mais de 2000 espécies minerais padrão. Entre esses dados constam os valores de $d(hkl)$ correspondentes às diversas difracções ou reflexões, dispostos por ordem decrescente de valor, bem como as intensidades correspondentes às difracções, para além de outros dados informativos.

2.4.2 - Microscópio electrónico de varrimento (MEV)

Um microscópio electrónico de varrimento (MEV) utiliza um feixe de electrões extremamente focado, que varre a superfície de modo a iluminar a amostra. Os electrões ejectados da superfície são utilizados para formar uma imagem, que é recebida por um tubo de raios catódicos semelhante ao de uma televisão, ou então directamente para uma base digital. São possíveis ampliações até 100.000 vezes com uma grande profundidade de campo.



Fotografia 3 – Microscópio electrónico de varrimento equipado com espectrómetro de energia dispersiva de raios X (SEM/EDAX).



2.4.3 -Espectrometria de plasma (ICP-MS)

A espectrometria de massa por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*), é uma técnica analítica de multielementos, rápida, precisa, calibrada e extremamente sensível, para a determinação de elementos traço numa grande variedade de amostras líquidas e sólidas. A análise química com este método baseia-se nos princípios de vaporização, dissociação e ionização química de elementos quando introduzidos em plasma (estado da matéria contendo electrões e átomos ionizados) quente. Os iões podem então ser separados de acordo com a razão massa/carga, por um analisador de massa de alta resolução (Thomas, 2001).

A técnica ICP-MS permite a análise de elementos como Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Cs, Ba, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, B, Al, Si, P, S, Cl, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th e U na ordem dos ppt e ppm, dependendo do elemento. É uma técnica rápida, precisa e exacta. Permite uma análise multielementos e permite medições isotópicas. Tem a desvantagem de ser susceptível a interferências.

Esta técnica quase não requer preparação de amostra. Permite a análise de amostras sólidas, que podem ser obtidas directamente, com algumas condicionantes ou em aerossol produzido por ablação, esta técnica permite também a análise de amostras líquidas, cujo transporte é assegurado por uma bomba peristáltica capaz de garantir uma fluência constante. Utilizando um amostrador automático (*autosampler*) permite automatizar a análise sequencial de várias amostras (Thomas, 2001).

No nebulizador, a amostra é convertida num aerossol que é transportado por gás Árgon de modo a ser introduzido no plasma. Este aerossol representa 1 a 2% da amostra. Há vários tipos de nebulizadores. A maior parte dos nebulizadores estão ligados à câmara de spray (*spray chamber*) onde a amostra é injectada na tocha de plasma. Além disso, a câmara assegura também um intervalo limitado do tamanho das gotículas do aerossol, bem como suaviza a pulsação do fluxo causada pela bomba peristáltica. A entrada nesta câmara também pode ser feita pela interacção com outras técnicas.

A tocha (Fig. 6) é horizontal e é composta por três tubos concêntricos, normalmente de sílica, o externo (*outer loop*) dentro do qual flui árgon ou nitrogénio para manter o plasma, para estabilizar a sua posição e isolar termicamente o tubo, o intermédio (*intermediate loop*) onde flui árgon que também assegura a estabilização da tocha e o interno (*inner loop*) onde a amostra é transportada sob a forma de aerossol, juntamente com o gás Árgon que corresponde ao gás de suporte. Assim, é esta corrente de gás a fluir no sistema que isola o plasma do resto do instrumento, evitando assim um possível curto-circuito, bem como a fusão do sistema (Thomas, 2001).

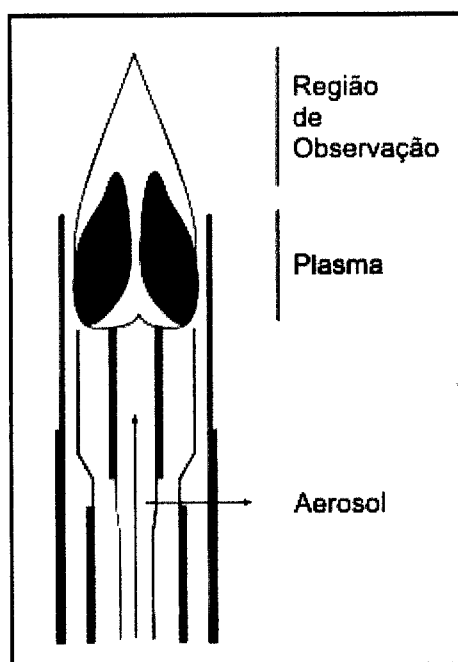


Figura 6 – Esquema da tocha utilizada no ICP-MS, adaptado de Thomas (2001).

A tocha encontra-se dentro de um enrolamento que gera radiofrequência RF, produzindo um campo electromagnético, uma pequena descarga eléctrica, gera electrões por inflamação do plasma. Esse campo electromagnético, cria uma corrente oscilante que acelera esses electrões de forma a colidirem inelásticamente com átomos de Árgon, produzindo Ar^+ e electrões livres. Assim, a tocha apresenta-se a 7000-8000 °K tendo como objectivo vaporizar, atomizar e ionizar a amostra.



De seguida, a amostra passa para a região de interface. Esta passagem é dificultada, porque implica uma transferência de condições de temperatura a 7000K à pressão atmosférica 760 torr, para condições de temperatura ambiente a 10^{-5} torr. Esta região de interface, é constituída por dois cones sucessivos de Ni ou Pt, com um orifício milimétrico por onde passam os iões do plasma. Os iões são extraídos do primeiro orifício que pertence ao amostrador em cone (*sampler cone*), por um sistema de bombagem diferencial e vão para uma região entre os dois cones, que se encontra à pressão de 1-3 torr mantida por uma bomba mecânica de vácuo (Thomas, 2001).

Nesta fase, a maior parte dos átomos de Árgon são removidos pela bomba de vácuo. Os iões que ficam passam pelo orifício do cone Skimmer para a secção frontal da câmara do espectrómetro de massa, que se encontra à pressão 10^{-3} a 10^{-4} torr, mantida por várias bombas turbo moleculares. As partículas neutras e os fotões emitidos pelo plasma, são impedidos de passar ao sistema de lentes iónicas (*ion lenses system*) e atingir o espectrómetro devido a um bloqueio de fotões (*photon stop*).

O sistema de lentes, situa-se na parte frontal da câmara do espectrómetro de massa e é constituído por uma ou mais lentes iónicas (*ion lenses*). A carga positiva da ou das lentes, permite a extracção de iões positivos da matriz de espécies neutras e é através destas lentes, que se foca o feixe iónico em direcção ao espectrómetro de massa. Para tal a essa(s) lente(s) é aplicada uma voltagem variável. O feixe iónico passa então para o dispositivo de separação de massa, que normalmente é o espectrómetro de massa quádruplo (*quadrupole mass spectrometer*). Este actua como um filtro de massa, que separa os iões de acordo com a relação massa/carga. Este dispositivo está localizado na zona traseira da câmara do espectrómetro de massa, que é mantida a 10^{-5} torr por uma segunda bomba turbomolecular (Thomas, 2001).



O espectrómetro é constituído por quatro varas condutoras que se opõem paralelamente, gerando um campo electromagnético complexo no espaço entre elas, controlando assim a trajectória dos iões a entrar no espectrómetro de massa e só os iões de relação massa/carga específica passam ao longo do espectrómetro, pois os outros iões com relação massa/carga maiores ou menores têm trajectórias instáveis e são perdidos ou filtrados. Deste modo, o espectrómetro de massa não faz a distinção entre cargas de partículas de diferentes espécies, que tenham a mesma relação massa/carga, por isso esta técnica é sujeita a interferências. Há mais dispositivos de separação de massa, mas não são tão utilizados ou por serem mais caros ou por outros motivos específicos (Thomas, 2001).

Segue-se o detector que se localiza na parte final do espectrómetro de massa e apresenta-se em vácuo de 10 a 5 torr. Permite detectar, amplificar e medir os iões que passam o espectrómetro, convertendo-os num sinal eléctrico. O tipo de detector mais usado é o multiplicador electrónico (*electron multiplier*) ou também o tubo fotomultiplicador (*photomultiplier tube*). Um tipo de multiplicador é o "*dual-stage discrete dynode detector*". Os iões carregados positivamente saem do espectrómetro e são atraídos para o primeiro "*dynode*" que é carregado negativamente. O impacto desses iões nesse "*dynode*" resulta na emissão de um número de electrões da sua superfície, que são depois atraídos para o segundo "*dynode*" carregado positivamente onde cada um emite electrões. Como este processo é contínuo numa série de mais de 20 "*dynode*" individuais, o número de electrões gerados cresce rapidamente, de modo que há uma amplificação do sinal.

Todas as fases constituintes deste instrumento são controladas por computador, que é responsável pela aquisição de dados, armazenamento, processamento e exposição. Na Figura 7 pode-se ver o esquema de funcionamento de um ICP-MS (Thomas, 2001).

Por isso, este sinal electrónico é processado e convertido em concentrações analíticas usando o calibrador standard ICP-MS e a sua intensidade é função do número de iões analisados no plasma e do transporte de massa ao longo do espectrómetro de massa.

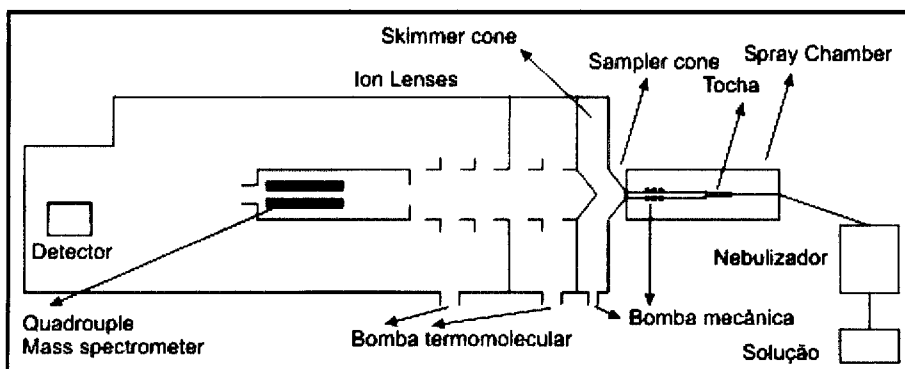


Figura 7 – Esquema da constituição de um ICP-MS adaptado de Thomas (2001)

Esta técnica permite a quantificação dos átomos ou moléculas e determina informações químicas e estruturais das moléculas. O resultado é apresentado sob a forma de um espectro de massa, em que o pico é proporcional à quantidade de isótopos elementares na amostra original. As amostras analisadas com esta técnica foram enviadas para o laboratório central da D.A.M. em França.



III - Técnicas de prospecção e valorização dos depósitos de caulino

1 - *Prospecção de depósitos de caulino*

1.1 - Introdução

Os depósitos de caulino podem ser de dois tipos, primários ou residuais por alteração "in-situ" de rochas ácidas ou intermédias, ou secundários se de origem sedimentar. Os métodos de prospecção para ambos não diferem muito, embora os parâmetros estratégicos ou guias sejam sensivelmente os mesmos. Guias como o enquadramento geológico, a geomorfologia, as litologias presentes e por vezes trabalhos mineiros antigos, servem para serem detectados possíveis locais de interesse. Quanto mais organizada e maior o número de dados forem recolhidos antes e durante a campanha de prospecção, mais elaborado e preciso será o resultado.

Na crosta terrestre nem todos os locais, zonas ou regiões estão documentados, estudados ou mesmo conhecidos. Numa situação de desconhecimento total o processo de prospecção é longo e dispendioso, dependendo do objectivo da prospecção, esse caminho pode ter vários pontos de partida e ainda mais caminhos a percorrer. É também evidente que as diversas fases de prospecção não podem ser consideradas rígidas e que acima de tudo dependem de factores de ordem económica.

Numa região desconhecida, a primeira fase de um trabalho de prospecção, deve ser um reconhecimento em larga escala recorrendo a meios como a fotografia aérea, imagens de satélite do terreno de interesse geológico. Os trabalhos efectuados nesta fase são de extrema importância e o registo, avaliação e estudo dos dados deve ser organizado de forma a permitir consultas e possíveis alterações.



1.2 - Fases de prospecção

Fotografias aéreas e imagens de satélite são as primeiras bases de trabalho que permitem incluir os trabalhos num sistema de referência geográfica e associar cada registo efectuado ao sistema de coordenadas seleccionado, (Reedman 1979). Destas imagens, definidas como imagens Raster (dados armazenados em grelhas, onde cada elemento da grelha corresponde a um valor a representar) são retirados por métodos de digitalização em mesa ou sobre imagem com programas de CAD (Computer Assisted Design) dados vectoriais (armazenamento de coordenadas de pontos e linhas com interesse, com atributos numa base de dados), como evidenciado na Figura 8.

Os processos de obtenção de dados vectoriais, podem ser de dois tipos, o referido anteriormente, definido como Processo Secundário e Processos Primários, que envolvem levantamentos de campo a GPS, passo e bússola, topografia e restituição aerofotogramétrica (Fig. 8).

Estes dados, referenciados num sistema de coordenadas, fornecem a componente geométrica do terreno e possivelmente com atributos associados, permitem uma melhor utilização dos dados, resultando numa base de trabalho GIS (Geographic Information System). Esta fase contribui, principalmente com a detecção e identificação de estruturas geológicas, geomorfológicas e estruturais, de grandes dimensões que servem como primeiros marcadores e limitadores de campo.

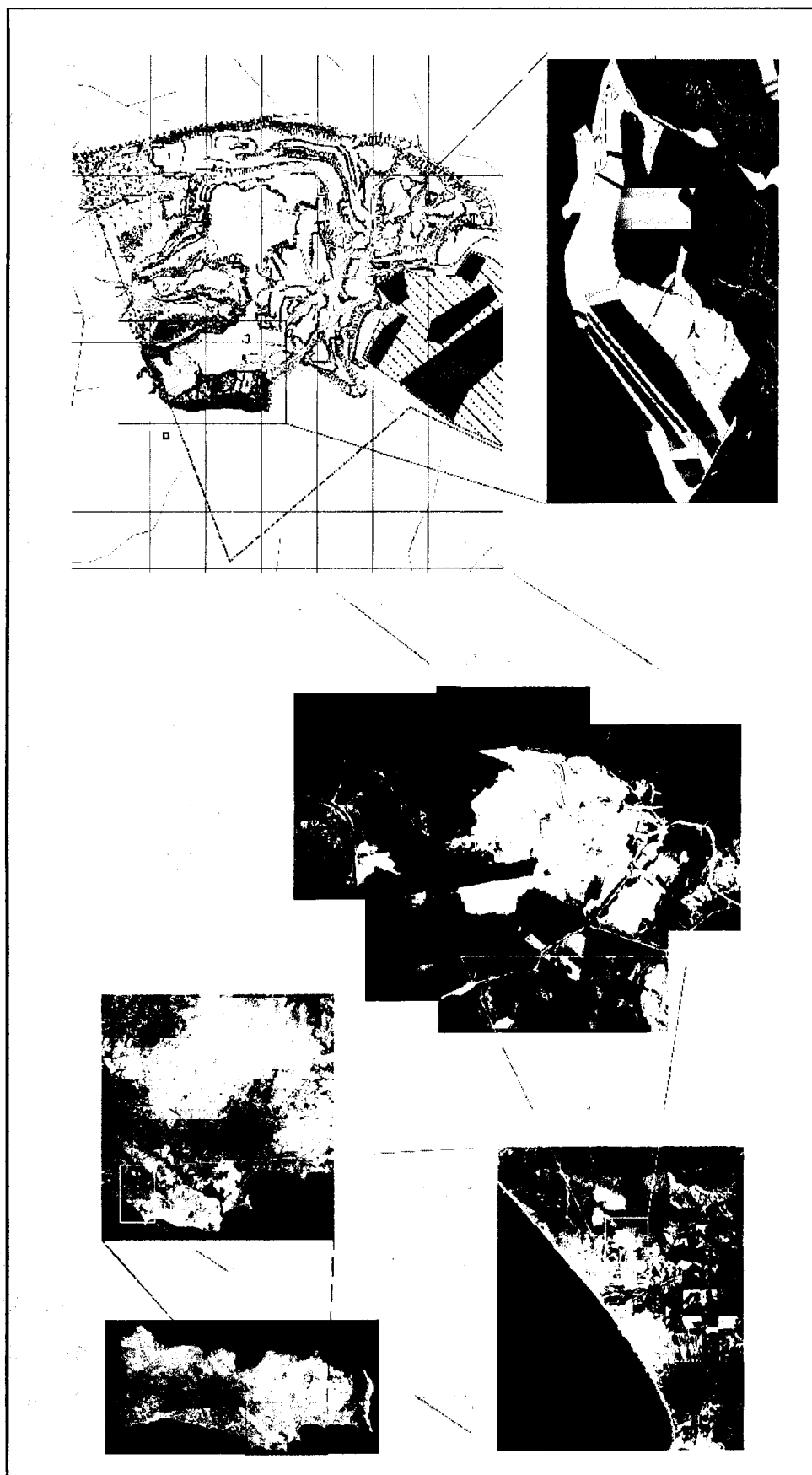


Figura 8 – Esquema de reconstituição de dados a partir de fotografias aéreas.

Numa segunda fase, a área de influência dos trabalhos deve ser reduzida a zonas de maior probabilidade. Não é muito provável encontrar depósitos de caulino sedimentar em zonas montanhosas, mas um depósito de caulino primário pode bem, estar entre duas dessas montanhas. Nesta fase os trabalhos de cartografia passam para o terreno e gradualmente é reduzida a rede, aumentado o pormenor de cartografia e aplicando a topografia (Foto. 4) com promenor. E aplicando métodos como a prospecção litogeoquímica e hidrogeoquímica.



Fotografia 4 – Levantamento topográfico com estação total.

Numa terceira fase, a prospecção é dirigida com maior atenção para o objectivo dos trabalhos, os depósitos sedimentares, nomeadamente os de caulino. Assim, na cartografia são delimitadas as redes hidrográficas, marcadas as bacias de sedimentação e recolhidas amostras para uma caracterização química e mineralógica, de modo a entender o regime de circulação e transporte de sedimentos e qual a sua origem.



Identificando algumas áreas de interesse é necessário conhecer exactamente quais as características morfológicas, geoquímicas, estruturais, sociológicas e políticas em que essas áreas estão enquadradas. Detectado um possível jazigo de caulino, os trabalhos especificam-se levando à necessidade de seleccionar um dos meios entre vários conforme a necessidade.

Tabela 4 – Programa de prospecção geológica e mineira.



Da experiência, empresas como a que explora estes depósitos, definem para um programa de prospecção como o da Tabela 4, que os custos serão de 5% para a selecção da área, de 12% para o reconhecimento, 29% para os trabalhos de prospecção no terreno 48% para as sondagens e 6% para a delineação do jazigo.

1.3 - Riscos na fase de prospecção

Durante qualquer campanha de prospecção tem que existir investimento que está associado a um certo risco. Segundo Reedman (1979) o investimento varia na ordem inversa do risco ou seja, na fase inicial o risco é maior mas o investimento é seguramente menor e à medida que se avança no investimento, com resultados positivos dos trabalhos, o risco vai reduzindo até à fase operativa da exploração (Tab. 5).

Tabela 5 – Fases e métodos de prospecção, e os riscos associados (Reedman, 1979).

	Tipo de trabalho	Métodos possíveis	Risco
Prospecção	Reconhecimento	Cartografia geológica, prospecção geoquímica, geofísica e aérea	Extremamente elevado
	Estudo prévio	Cartografia geológica, prospecção geoquímica, geofísica e algumas sondagens limitadas	Muito elevado
	Estudo detalhado	Sondagens e alguns ensaios industriais limitados	Elevado
Desenvolvimento	Estudo de viabilidade	Sondagens, ensaios industriais, cálculo de reservas e projecto mineiro	Moderado
	Construção e preparação da área	Construção das instalações, preparação para a exploração e algumas sondagens de confirmação	Baixo
Exploração	Extracção e valorização do minério	Aplicação do projecto mineiro	Baixo



1.4 - O cálculo de reservas mineiras

Na fase pré-operativa, o que não quer dizer que seja a fase final da prospecção, deve ser levado a cabo um exercício de cálculo de reservas que integrado com o estudo económico e de mercado vai definir a viabilidade do projecto. O cálculo de reservas deve estar dentro de um intervalo de confiança, que depende do número de dados, suficientemente seguro para determinar as áreas conhecidas, as prováveis e as inferidas, tal qual o proposto para os metais por Reedman (1979).

Para o cálculo de reservas do caulino é necessário efectuar um exercício de dimensionamento do jazigo e respectivo cálculo de volumes; de estéril, material aproveitável e caulino. Como em todos as explorações é conveniente efectuar uma exploração total dos materiais que podem ser explorados, ou seja, no caso de um depósito sedimentar com caulino deve-se ter em conta que os subprodutos, como as areias que também podem ser rentabilizados para a indústria ou para a construção. Deste modo estes materiais também devem fazer parte do cálculo de reservas bem como as zonas do jazigo onde o caulino é de menor qualidade que deve ser identificado e contabilizado como produto de qualidade inferior.

Na determinação do estéril ou cobertura que vai ser movimentada, deve-se ter em consideração a razão entre o estéril e o material aproveitável de modo a não ter custos excessivos com o acesso ao material que vai ser explorado. Os resultados do cálculo de reservas para o depósito de caulino de Mosteiros, encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Trabalhos de prospecção geológica e os resultados da prospecção obtidos no depósito de caulino Mosteiros

Área Autorizada	28,2	hectares
Superfície Sondada	22,5	hectares
Malha de sondagem	50x100	metros
Número de sondagens	41	
Metros lineares de sondagens	1100	metros
Espessura média da exploração	30	metros
Altura total das frentes de desmonte	50	metros
Altura das bancadas	5	metros
Largura das bancadas	40	metros
Comprimento da frente	350	metros
Cobertura e terra vegetal	15	metros
Espessura da camada superior de caulino	10	metros
Espessura das argilas vermelhas	10	metros
Espessura da camada inferior de caulino	15	metros
RESERVAS APROXIMADAS	1000000	Toneladas

Tabela 7 – Cálculo de reservas mineiras para Mosteiros

Reservas de caulino	1000000	toneladas
Volume de minério	3600000	metros cúbicos
Volume de estéril	6800000	metros cúbicos
Cobertura	3800000	metros cúbicos
Minérios desclassificados	1400000	metros cúbicos
Argilas vermelhas	1600000	metros cúbicos
Teor médio de caulino	4,6	toneladas por metro cúbico
Volume de estéril por tonelada de caulino	6,6	metro cúbico por tonelada
Volume total por tonelada de caulino	10,1	metro cúbico por tonelada



2 - Técnicas e métodos de prospecção

2.1 - Métodos mecânicos

A prospecção mecânica envolve métodos de estudo directos como sanjas ou trincheiras que consistem na escavação superficial, em solos e rochas, recorrendo a retroescavadoras, escavadoras de rastos, explosivos ou métodos manuais (Milsom, 2002). Poços abertos na vertical, em solos e rochas brandas, que são limitados pela profundidade e pelo nível freático. Galerias de pequena secção, onde há acesso directo ao maciço, é um método bastante dispendioso. Furos de grande diâmetro escavados mecanicamente, permitindo recolher amostras e observar o maciço directamente. E câmaras em furos de sondagem com acesso em profundidade e observação directa das estrutura, método muito dispendioso.

2.1.1 - Sondagens

Métodos semi-directos, como as sondagens (o método mais comum) envolve várias técnicas, dependendo do tipo de informação que se pretende e da disponibilidade do meio, selecciona-se um dos vários métodos. Os furos de sondagem podem ser abertos com jacto de água, com trado (mecânico ou manual) ou martelo de furação.

a – Técnicas utilizadas nas sondagens

Sondagens a trado manual ou mecânico – Podem ser realizadas em solos ou rochas. Encontram-se limitadas ao tipo de terreno e ao nível freático e as amostras são remexidas.

Sondagens à percussão – Perfuração mecânica, recorrendo a um martelo de fundo a ar comprimido. É um processo relativamente económico quando utilizado para identificar estruturas sem muito detalhe e precisão, sendo as amostras remexidas.

Sondagens à rotação – O método de “Rotary”, do tipo destrutivo e muito semelhante na recuperação, aos métodos percussivos (Foto. 5). Envolve a recolha de amostras remexidas e permite atingir profundidades na ordem das centenas de metro, bem como as sondagens com recolha de amostra indeformada, na qual se recorre a vários tipos de amostradores, dependendo do tipo e da finalidade da amostra. Neste método também pode ser aplicada a técnica de “wire-line” que permite recolher o amostrador sem retirar o trem de varas do furo.



Fotografia 5 – Sondagem à precursão

Os métodos indirectos de prospecção mecânica são ensaios “*in situ*” que pelo meio de extrapolação de resultados permitem, inferir sobre as condições envolventes denominados, SPT – *Standard Penetration Test*, CPT – *Cone Penetration Test*, DP – Penetrómetro Dinâmico. Estes métodos não são muito utilizados na prospecção mineira, mas são largamente utilizados em trabalhos de geotecnia.

2.2 - Métodos geofísicos

Os métodos de prospecção geofísica têm sido usados tradicionalmente como técnicas não invasivas do subsolo, em trabalhos de prospecção mineira, petrolífera e de gás. São também utilizados na engenharia civil, hidrogeologia, arqueologia e mais recentemente na detecção de problemas ambientais.

A geofísica só por si é uma área científica, que utiliza vários métodos, fundamentados nas leis da física e propriedades físicas das rochas, minerais e outros constituintes do subsolo (água, poluentes e contaminantes). A prospecção geofísica permite uma exploração quantitativa e qualitativa do subsolo. A aplicabilidade da geofísica decorre de factores como a capacidade de estudar o subsolo de um modo não invasivo, perigoso ou mesmo destrutivo. As técnicas existentes, servem essencialmente para confirmar dados de sondagens mecânicas, ou mesmo projectar uma campanha de sondagens de modo a reduzir o número de furos ao essencial. De referir também que são métodos excelentes, para aferir a homogeneidade das recolhas de informação em furos mecânicos, visto que estes dados são extremamente localizados. Como se pode ver na Figura 9 a complexidade de uma bacia sedimentar pode ser reduzida a número suficiente de sondagens mecânicas (Versteeg, 1997).

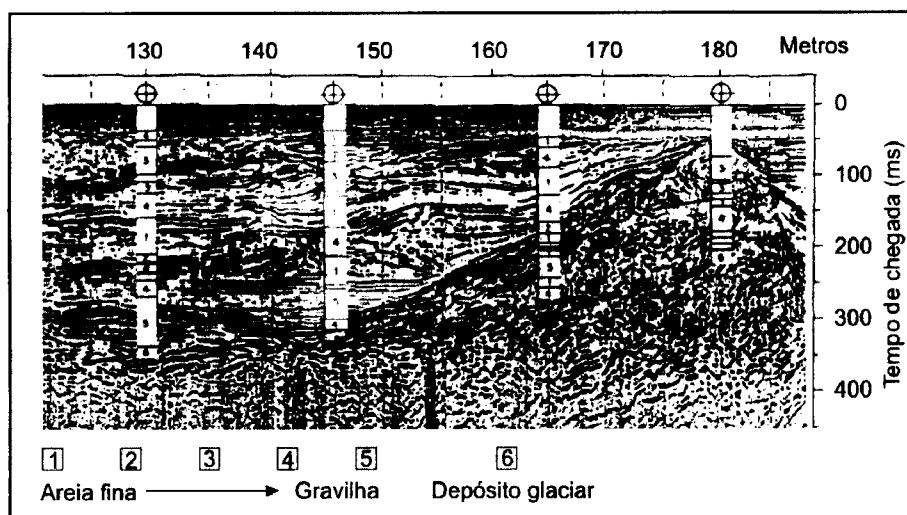


Figura 9 – Integração de dados entre dados geofísicos e mecânicos (adaptado de Versteeg, 1997)

O resultado de um estudo geofísico é uma representação da distribuição no espaço ou no tempo de propriedades físicas como: condutividade eléctrica (σ), resistividade eléctrica (ρ), susceptibilidade magnética (κ), permitividade dieléctrica (ϵ), densidade e velocidade sísmica, e inferir propriedades mecânicas dos solos, rochas e minerais como: porosidade e permeabilidade. Estes dependem para além do tipo de rocha (Fig. 10), de factores tão simples como a quantidade de água presente ou mesmo da qualidade dessa mesma água. Assim, a representação dessa propriedade é simplesmente uma peça importante de um puzzle, que depois de traduzida serve como um parâmetro guia para a prospecção (Versteeg, 1997).

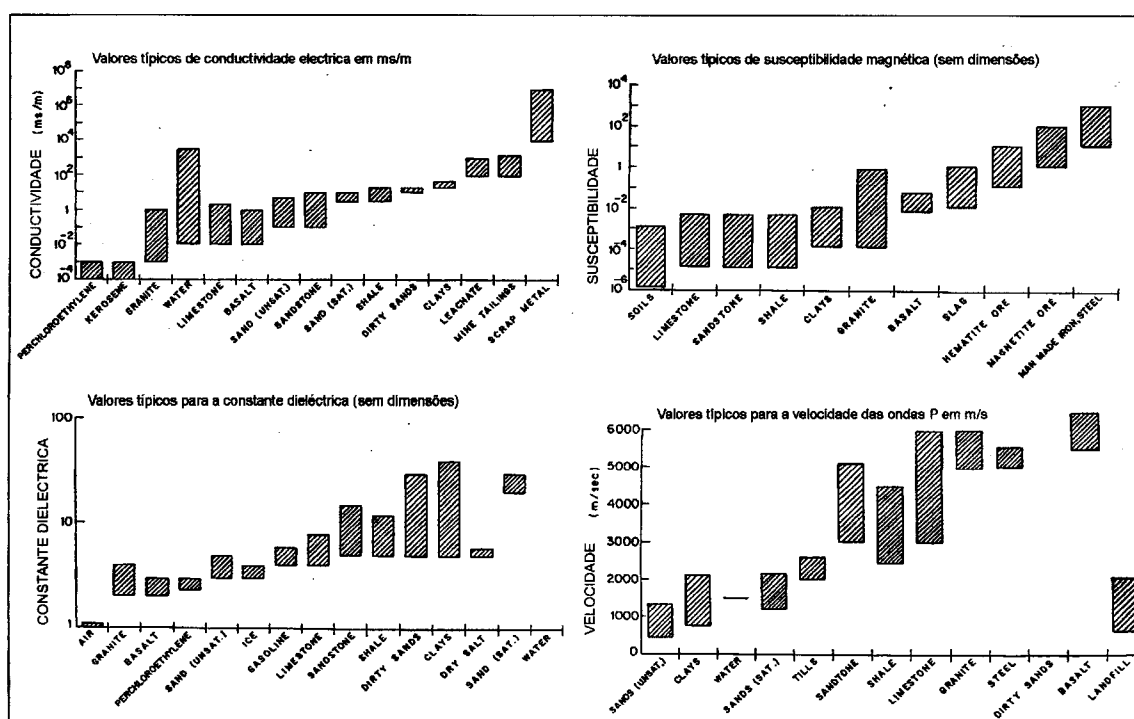


Figura 10 – Exemplos de variação das propriedades físicas em materiais conhecidos (Versteeg, 1997)



Dependendo da finalidade do estudo e do tipo de informação de que se necessita, verifica-se a necessidade de optar por uma das propriedades físicas e consequentemente por um dos métodos. Por exemplo, a profundidade a que se encontra o substrato firme é um dos dados que mais interessa quando nos encontramos a estudar um jazigo de caulino, deste modo deve optar-se por técnicas com uma boa resolução lateral e vertical como por exemplo a refacção ou reflexão sísmica, ou métodos eléctricos (Versteeg, 1997). A disponibilidade de equipamento é um dos factores de escolha, mas também é necessário ter em conta a aplicabilidade de cada técnica, sintetizada na Tabela 8, a aplicação de uma técnica não muito comum para um determinado fim implica cuidados acrescidos na recolha e interpretação dos dados e recorrendo muitas vezes à recolha simultânea com outro método geofísico.

Tabela 8 – Aplicabilidade dos métodos geofísicos para situações típicas na prospecção de caulino (adaptado de Versteeg, 1997)

QUASE SEMPRE APLICÁVEL		PROFUNDIDADE DO SUBSTRATO FIRME	ESTRUTURA INTERNA	POROSIDADE LOCAL	CONTEÚDO EM ARGILAS
NORMALMENTE APLICÁVEL					
POR VEZES APLICÁVEL					
POUCO APLICÁVEL					
QUASE NUNCA APLICÁVEL					
MÉTODO					
MAGNÉTICA					
GRAVIMÉTRICA					
AIR EM					
CONDUCTIVIDADE ELÉCTRICA					
VLF					
TDEM					
REFRACÇÃO SÍSMICA					
REFLEXÃO SÍSMICA					
RESISTIVIDADE					
RADAR					
GEOFÍSICA EM SONDAGENS					

2.2.1 -Prospecção sísmica

Na prospecção geofísica, os métodos sísmicos são utilizados para identificar camadas com propriedades mecânicas diferentes (velocidade sísmica e densidade), sendo especialmente útil para detectar o substrato firme ('bed-rock'). Este método recorre às ondas sísmicas que são propagadas através do subsolo. Os tempos de trajecto, são medidos a partir das ondas que são devolvidas à superfície depois de serem refractadas ou reflectidas nas interfaces geológicas no subsolo. Estes tempos são convertidos em profundidades, através de expressões ou recorrendo a "software" próprio, permitindo a elaboração da distribuição das interfaces no subsolo, a partir da velocidade e dos tempos de chegada das ondas sísmicas.

As ondas sísmicas utilizadas podem ser de dois tipos, as ondas de corpo e as de superfície. As ondas sísmicas de corte (S) e as compressivas (P), denominadas ondas de corpo (Fig. 11), são não dispersivas significando que uma onda viaja à mesma velocidade dentro de um corpo, sendo essa velocidade controlada pelo módulo elástico e densidade do material (Fig. 12).

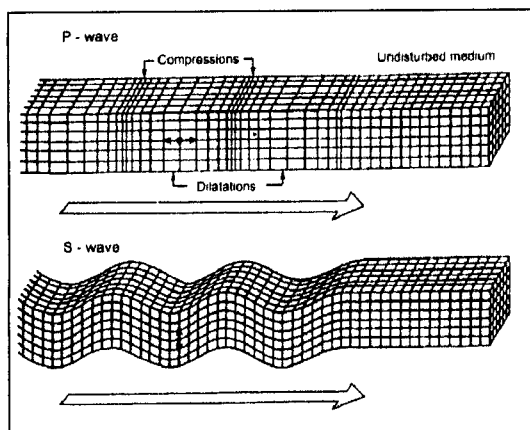


Figura 11 – Ondas S e P

Material	V /s)	d(g/m ³)
Ar	330	
Lamas	300-750	
Areia seca	450-900	1.6-2.0
Argila	900-1800	1.3-1.8
Água	1430-1490	1.0
Areia saturada	1500	
Rochas alteradas (Ígneas e metamórficas)	450-3700	
Rochas alteradas (sedimentares)	600-3000	
Argilitos	800-3700	
Grés e arenitos	2200-4000	1.9-2.7
Rochas metamórficas	2400-6000	
Basalto	2600-4300	2.2-3.0
Calcário	4300-6700	2.5-3.0
Granito	4600-6700	2.6-3.1
Aço	6000	

Figura 12 – Velocidades das ondas P em vários tipos de litologias, (USACE, 1995).

As ondas de superfície são, tipicamente dispersivas e têm como característica a capacidade de se propagarem ao longo dos limites livres de um sólido. Mais recentemente, as técnicas de processamento de ondas de superfície e estão a ser utilizadas para estudos de pequena profundidade onde se podem estudar as estruturas e determinar a profundidade de depósitos sedimentares. Na maioria dos métodos, as ondas utilizadas para estudos geológicos são as ondas sísmicas de corpo compressivas.

Na sismica de refacção, o princípio básico fundamenta-se no trajecto linear da energia sísmica num meio homogéneo e na alteração do ângulo de trajecto ao atravessar a interface entre dois meios com características diferentes. De acordo com a Figura 13 a refacção sísmica consiste em gravar os tempos de chegada dos primeiros impulsos de um "tiro", a uma série de receptores distribuídos à superfície (geofónes). O tempo que essas ondas demoram a percorrer a primeira camada, serem refractadas e a serem devolvidas à superfície é projectado num diagrama tempo-distância como o da Figura 13. De referir que estes métodos não são só aplicáveis em terrenos onde as interfaces sejam planares, ou seja, com uma variação lateral da espessura das camadas (Fig. 13), como também podem ser aplicados em terrenos com mais do que uma camada e com variação lateral de espessura (Almeida, 1999), desde que a velocidade da camada inferior seja sempre maior que a velocidade da camada imediatamente acima.

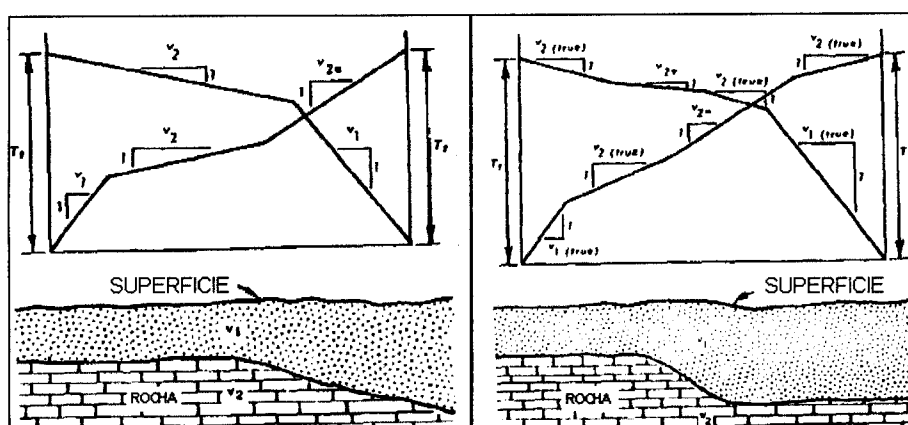


Figura 13 – Esquema de interpretação de dados que permite inferir alterações na topografia subterrânea (USACE, 1995).

No caso da sísmica de reflexão, a energia percorre um determinado trajecto num conjunto de estratos, atingindo uma interface onde é reflectida e seguidamente recebida   superfície numa série de receptores (geof nes), ligados a um dispositivo que regista a chegada das ondas sob a forma de um gráfico (Fig. 14), onde posteriormente   possível identificar as variações das reflexões (sismógrafo).

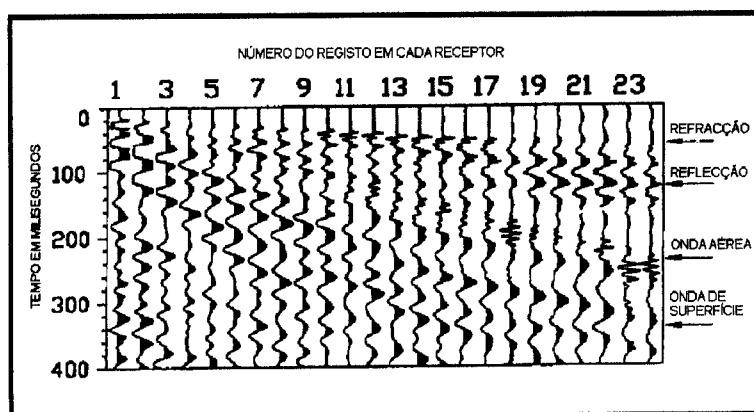


Figura 14– Exemplo de um registo de refracção e reflexão sísmica (USACE, 1995).

2.2.2 -Prospecção eléctrica

Os métodos eléctricos consistem essencialmente na identificação das diferenças da resistividade eléctrica entre corpos, camadas, contactos ou descontinuidades (Tab. 9). Na prática, consiste em introduzir eléctrodos no terreno de uma forma geométrica e adquirir os dados com o respectivo resist metro. A corrente eléctrica pode circular no terreno de modos diferentes e depende essencialmente da porosidade, da condutividade da água presente e da distribuição das descontinuidades do meio. Existem vários métodos de prospecção eléctrica e diferentes técnicas de recolha de dados.

Tabela 9 – Resistividades eléctricas típicas para algumas litologias.

Material	Resistividade (Ωm)
Argila	1-20
Areia, seca a húmida	20-200
Shale	1-500
Calcário poroso	100-1000
Calcário denso	1000-1000000
Rochas metamórficas	50-1000000
Rochas �gneas	100-1000000

No terreno, dependendo das estruturas, podem ser aplicadas várias técnicas de recolha de dados. Desse modo podem ser efectuadas sondagens eléctricas, ao centrarmos um dispositivo de eléctrodos, de corrente e de potencial, e ao incrementarmos progressivamente a distância entre os vários eléctrodos de corrente aumentamos a profundidade de investigação. O resultado é uma série de dados recolhidos no mesmo ponto mas a diferentes profundidades. Os perfis eléctricos (Fig. 15) e cartas de resistividade efectuam-se com leituras de um dispositivo de dimensões constantes deslocando-o ao longo de uma determinada linha, obtendo assim um perfil eléctrico. Ao integrar vários perfis eléctricos em área, podemos criar uma carta de resistividades eléctricas para uma dada profundidade litológica. Mais recentemente, surgiram resistímetro que permitem efectuar de forma automática, leituras de resistividade eléctrica com varrimento lateral (perfil) e com o afastamento entre eléctrodos de corrente (sondagem). Esta capacidade permite construir pseudo secções interpretáveis sob a forma de secções de resistividade e assim avaliar a distribuição de resistividade simultaneamente em termos laterais e em profundidade (Fig. 15).

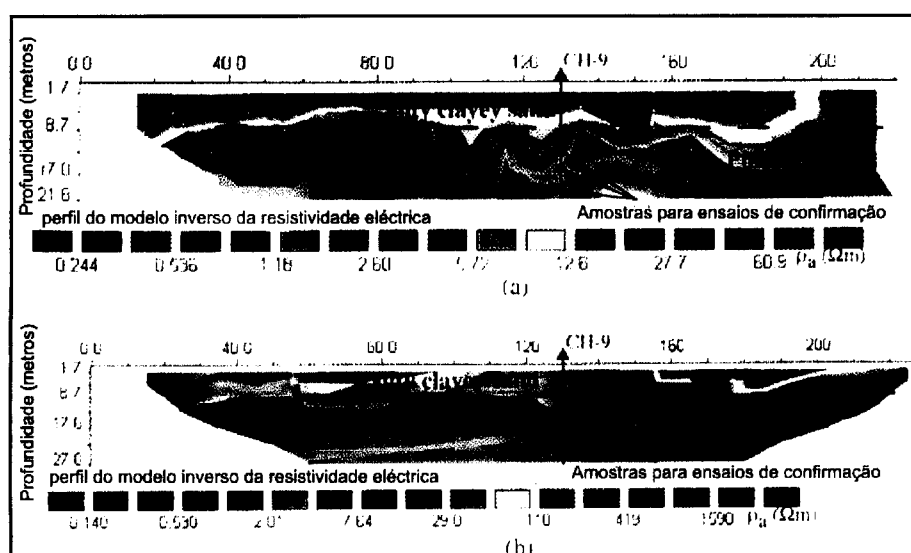


Figura 15 – Exemplo de dois perfis eléctricos aferidos por uma sondagem mecânica (Gião et al., 2002)



Na maioria dos casos é possível fazer corresponder os dados de uma sondagem eléctrica, definindo unidades geofísicas, com unidades geológicas. De facto a prospecção geofísica é indirecta, pelo que nem sempre existe uma correspondência biunívoca entre as camadas geofísicas e geológicas assim nem sempre uma unidade geofísica corresponde a uma unidade geológica. A realização de estudos geofísicos prévios, na selecção de terrenos para eventual exploração de depósitos minerais, no caso do caulino, constitui uma opção estratégica e económica anterior à realização de sondagens mecânicas e de trabalhos de exploração convencionais, não só para determinar a espessura efectiva como também para definir a estratigrafia de um depósito (Ferreira et al., 1996).

2.2.3 - Prospecção electromagnética

A prospecção electromagnética utiliza a propriedade de propagação dos campos electromagnéticos, nos corpos, composta por uma alternância entre intensidade eléctrica e força magnética (Davis e Annan, 1989).

Um dos métodos electromagnéticos recentemente utilizados no estudo de solos e rochas a pequena profundidade é, o Radar (GPR – Ground Penetrating Radar). Este método aplica-se em situações tão variadas como, na determinação de espessuras de gelo, água ou rocha, determinação da profundidade do substrato firme, avaliação da estrutura estratigráfica, identificação de níveis freáticos, reconhecimento de estruturas e cavidades, e classificação do estado de fracturação do terreno (Davis, 1989).

O princípio da técnica de radar é muito semelhante ao da reflexão sísmica e também do sonar. O radar produz um curto impulso de energia electromagnética de alta-frequência (10 a 100 MHz) o qual é transmitido para o solo, a propagação do sinal é alterada pelas propriedades do terreno, sendo possível registar as interferências numa antena receptora (Davis e Annan, 1989).

As propriedades eléctricas dos materiais geológicos são controladas essencialmente pelo conteúdo em água, deste modo, essa variação vai permitir inferir camadas mais ou menos ricas em água criando superfícies reflectoras.

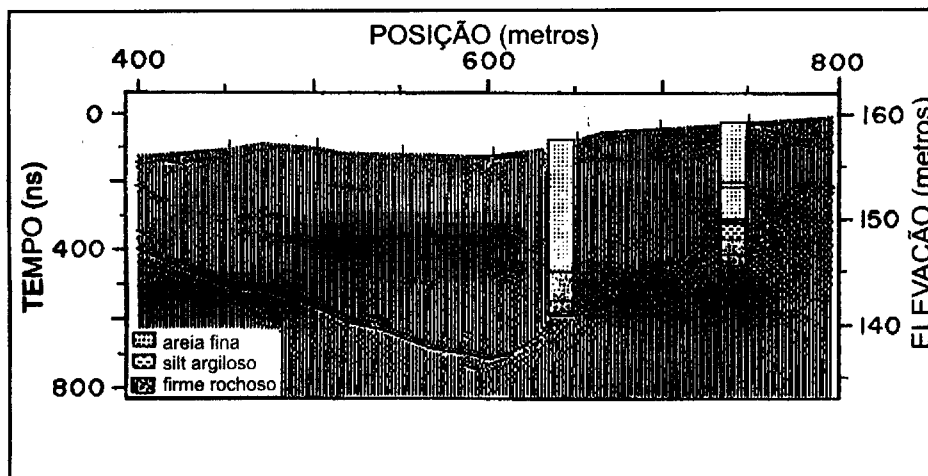


Figura 16 – Registo de radar evidenciando a topografia do firme rochoso coberto por areia fina (Davis, 1989).

Com esta técnica é possível determinar, por exemplo a espessura de areia e respectivo substrato rochoso, com sondagens mecânicas podemos comprovar e aferir os dados como é representado na figura 16.

Outras aplicações úteis desta técnica é o reconhecimento de estruturas e comprovar os resultados por comparação com a superfície (Fig. 18). Segundo Moura et al. (2000) também se reconhece a possibilidade de efectuar séries de perfis “Ground Penetrating Radar” (GPR) e Electromagnéticos (EM) e integrar os dados de modo a ter uma imagem 3D do estrato reflector (Fig. 17).

Geralmente se pode aplicar esta técnica em estudos que não ultrapassem os 10 a 15 metros de profundidade e que a profundidade de investigação se reduz com a presença de materiais condutivos, como argilas, siltes, ou solos ricos em água, permitindo a aplicação em trabalhos de reconhecimento de jazigos de caulino.

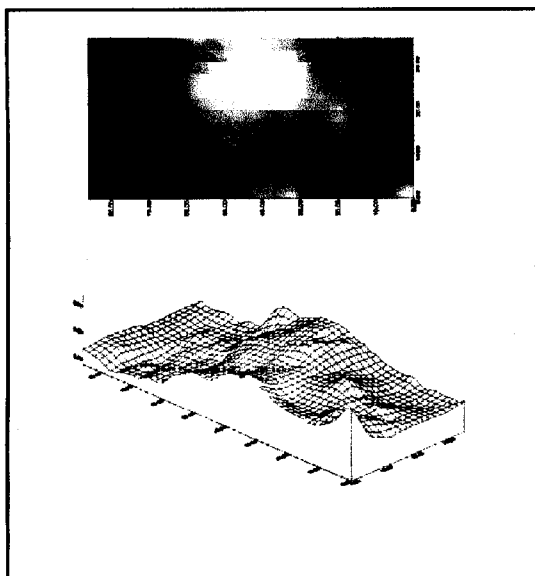


Figura 17 – Mapa e diagrama 3D de condutividade electromagnética (Moura et al., 1999)

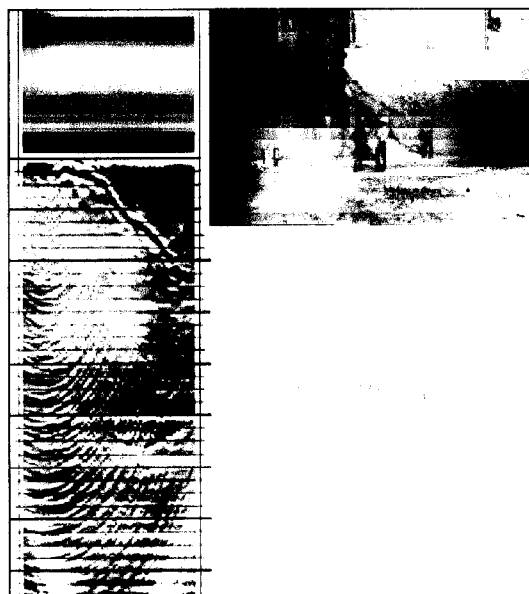


Figura 18 – Registo de Radar e comparação com estrutura à superfície (Moura et al., 1999)

Os métodos electromagnéticos do tipo condutímetro, são também largamente utilizados em prospecção de materiais geológicos. O princípio baseia-se na emissão de um campo electromagnético de frequência constante, numa bobine emissora, havendo uma interferência desse campo com o subsolo a qual é medida na bobine receptora. Esta regista os dados como os da Figura 17. A profundidade de investigação depende essencialmente da frequência de operação, sendo a razão do campo emitido em relação ao campo secundário recebido, proporcional à condutividade de um determinado volume de terreno (Moura et al., 1999).

Outras técnicas como o VLF (Very Low Frequency) e AFMAG (Áudio Frequency Magnetic Field) são utilizadas, mas são essencialmente aplicados na prospecção de elementos metálicos, devido à forte resposta electromagnética.



2.3 - Métodos geoquímicos

2.3.1 - Prospecção litogeoquímica

A prospecção litogeoquímica, compreende vários métodos de amostragem, entre os quais a amostragem de sedimentos das linhas de água, amostragem de solos e amostragem de rochas. Estes métodos, podem ser utilizados separadamente ou de forma conjunta, visando aprofundar o conhecimento das anomalias numa determinada área. Assim, geralmente utiliza-se a amostragem de sedimentos de linhas de água numa prospecção geral, que pode depois ser aprofundada pela amostragem de solos. Deste modo, a amostragem de solos não só constitui um método de prospecção geoquímica primário, mas também constitui um método de prospecção detalhada, podendo ser utilizado como complemento de outro.

Os métodos rápidos, precisos, simples e económicos, mais utilizados no âmbito da prospecção litogeoquímica são, a amostragem de sedimentos de linhas de água e amostragem de solos (McBride, 1994; Langmuir, 1997).

A amostragem de sedimentos de linha de água permite determinar concentrações anómalas de elementos químicos presentes nos sedimentos de linhas de água, de modo que uma amostra seja representativa da área de recolha. Assim, este método baseia-se no princípio dos sedimentos reflectirem a composição da rocha encaixante da bacia hidrográfica, reflectindo também o material que precipita quimicamente devido à circulação da água que os transporta. Deste modo, perante uma concentração mineral exposta aos agentes erosivos, os elementos químicos são dispersos na água que lhes serve de meio de transporte, precipitando depois nos sedimentos de linha de água.

Assim, os sedimentos de linhas de água além de apresentarem uma composição típica do bedrock, ainda apresentam anomalias dos elementos precipitados. O mesmo processo ocorre nas escombreyas de minas e nas descargas de origem antropogénica. A prospecção litogeoquímica, constitui assim uma ferramenta importante para a localização de uma fonte contaminante.



A prospecção litogeoquímica em sedimentos de linhas de água apresenta, de outro ponto de vista e de acordo com os metais em questão, atribui-se maior importância ao transporte mecânico, ou seja, ao transporte dependente da densidade e menor importância à precipitação de elementos que são transportados pela água. O ideal será ter em conta os dois pontos de vista, de modo que de acordo com o elemento que se procura, aplicar os procedimentos de amostragem mais adequados.

Os procedimentos de uma amostragem de sedimentos de linha de água estão pré-definidos, desde a fase do planeamento da campanha de prospecção, onde se pode ter recorrido a um levantamento orientado, de modo que a amostragem detalhada se adapte o mais possível ao objectivo estabelecido (Langmuir, 1997).

A amostragem de sedimentos de linha de água, apresenta maior sucesso em linhas de água muito segmentadas por vales irregulares, cujas correntes sejam de pequena ordem e consequentemente com uma forte erosão activa. Em linhas de água de drenagem madura com corrente lenta e transporte dos sedimentos limitado, o método demonstra menor sucesso, no entanto nestas condições este tipo de amostragem pode ser útil para uma fase de reconhecimento. Assim as amostras devem ser recolhidas preferencialmente em zonas activas da corrente, evitando deste modo a amostragem em aluviões que podem constituir terrenos muito antigos e por isso que já pouco têm a ver com a realidade actual. Deve-se evitar a amostragem em linhas de água principais devido principalmente ao efeito de diluição.

As amostras devem consistir em areias e silte de fracção fina, ou seja devem conter o máximo de material fino possível. Esse material fino ocorre geralmente perto de blocos de grandes dimensões que formam barreiras, nos espaços vazios de aglomerados de seixos zonas de marmitta, ou no caso da linha ter muitos rápidos, o material fino ocorre um pouco mais afastado dessas zonas, preferencialmente numa zona de poço. Em terrenos onde o clima temperado, o maior contraste anomalia/background para metais traço é obtido na fracção fina que contém mais matéria orgânica, argila, óxidos de Fe e Mn. As fracções maiores, além de terem uma origem mais local apresentando por isso uma concentração menor em elementos traço, apresentam as forças electroquímicas mais dissipadas.



As amostras também devem ser preferencialmente colhidas em zonas de confluências de linhas de água, imediatamente acima dos afluentes, de modo a determinar a contaminação por segmentos de linha de água, seleccionando automaticamente linhas contaminadas. De notar que, num local de intersecção de uma linha de água com uma estrada, a amostra deve ser colhida acima dessa intersecção, de modo que a estrada não esteja a contribuir com contaminações para a linha de água (Langmuir, 1997). A amostragem pode ser realizada quando a corrente está seca ou húmida.

A densidade a aplicar na amostragem depende da densidade da drenagem, do tamanho da área, das condições geológicas, topográficas e geomorfológicas, do tipo de depósito que está a ser alvo de estudo, da experiência do prospector, do tempo e das limitações económicas. Assim, deve-se colher de 1 a 10 amostras por km² em termos de área e uma amostra por cada 200 metros a 500 metros de extensão de linha de água. Para cada amostra o ideal será colher as amostras aos bocados em vários locais, numa extensão de 10 a 20 metros, de modo que a amostra seja a mais representativa possível do local.

Quando o objectivo é a análise e mapeamento geoquímico, a quantidade de amostra que deve ser colhida é de 20 a 30 Kg, no entanto esta pesagem varia com o elemento que queremos analisar, bem como com a preparação e o método de análise. De notar, que o essencial é colher a quantidade de amostra necessária para que após a passagem pelo peneiro existam as quantidades de sedimentos finos necessárias.

A profundidade de colheita de amostra, deve ser aproximadamente de 10 a 15 cm, abaixo disso é onde se concentram os materiais mais densos. Por vezes a equipa de prospecção decide recorrer a amostras em duplicado, ou seja amostras retiradas exactamente no mesmo local, de forma a testar a precisão e rigor do laboratório.

Na fase de amostragem deve-se tirar o máximo de dados de campo. Esses dados devem ser seguros, incluindo informação da quantidade de matéria orgânica, natureza dos sedimentos e da corrente, largura da linha de água, algum afloramento presente, rugosidade do leito, mudanças bruscas no pendor da linha de água, medidas de pH e a existência ou não de óxidos de Fe e Mn, uma vez que estes óxidos apresentam grande capacidade de absorção, intersecção com estradas, etc.



A produtividade no campo varia muito com as condições e com o modo de transporte da equipa, mas normalmente um homem colhe por dia de 15 a 40 amostras.

As amostras colhidas são secas e peneiradas a 80 mesh, eliminando a fracção grosseira e depois são preparadas para análise. No entanto, a malha de peneiração varia muito de estudo para estudo, podendo ser conveniente o uso de outras malhas, com fim à optimização de resultados, ou para utilização de determinado método de análise. Além desta separação de sedimentos por fracção, também se pode fazer a separação de metais pesados magnéticos e não magnéticos, bem como a separação à bateia para densos, dependendo por isso dos elementos em questão.

Depois das amostras analisadas num laboratório previamente seleccionado, é necessário interpretar os dados. A interpretação de uma amostragem de sedimentos de linha de água tem uma base empírica, por comparação das amostras e por determinação da relação da química da linha de água com as amostras dela colhidas. De referir que, quando há muitas anomalias e a área é muito extensa, é necessário ser selectivo dando às anomalias um grau de prioridades com base nas anomalias locais, nos elementos associados, na natureza da corrente, na geologia local, na quantidade de matéria orgânica, presença ou ausência de óxidos de Fe e Mn e pH, de modo a seleccionar a(s) zona(s) de anomalia mais provável.

A interpretação dos dados de laboratório implica uma posterior apresentação dos resultados. Essa apresentação pode ser feita de vários modos, normalmente sobrepõe-se a fotografia da rede de drenagem, ao mapa de numeração e marcação geográfica das amostras, apresentando-se as anomalias graduadas numa escala descritiva ou numérica, sob a forma de mapa de pontos ou mapa de linhas (Fig. 19). No primeiro caso, o local da amostra é marcado com um ponto a preto cujo tamanho é proporcional à concentração metal da amostra. No segundo caso, a continuidade da linha determina o segmento de corrente que apresenta uma determinada concentração proporcional à espessura da linha.

O mapa de pontos é preferível para levantamentos de baixa densidade e o mapa de linhas é preferível para levantamentos de alta densidade. No entanto, a apresentação sob a forma de mapas de pontos pode ser diferente, em que as amostras estão representadas com pontos do mesmo tamanho e os teores e as marcações estão indicados ao lado dos pontos.

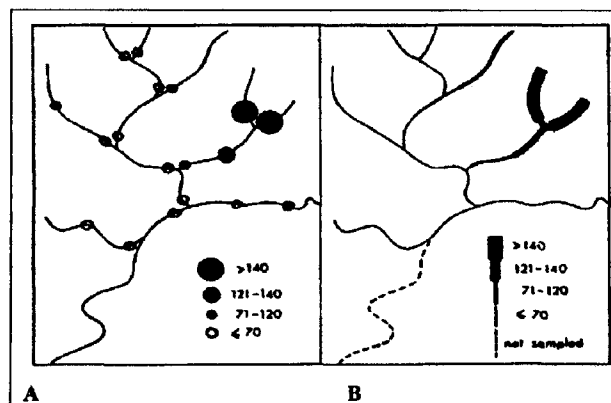


Figura 19 – Mapas de apresentação de resultados de amostragens de sedimentos de linhas de água. A – Mapa de pontos, proporcionais à concentração de determinado elemento. B – Mapa de linhas, cuja espessura é proporcional à concentração de determinado elemento (Siegel, 1974)

Na apresentação, embora seja mais comum para amostragens de solos, por vezes também se utilizam mapas de isotores em amostragens de sedimentos de linhas de água. Neste caso, faz-se uma estimativa dos terrenos envolventes das linhas de água logo não amostrados, reunindo para cada linha terrenos com a mesma concentração. Também é comum fazer apresentações estatísticas activas à variação da concentração dos elementos ao longo da linha de água, ou mesmo diagramas de correlação entre vários elementos, de modo a determinar qualquer relação existente.

Concluindo a amostragem de sedimentos de linhas de água é útil, rápida e económica, sendo ideal para determinar a área de maior concentração de elementos, a grande escala.

Amostragem de solos constitui um método de prospecção detalhado onde o solo reflecte a composição da rocha mãe que o originou, bem como qualquer contaminação exterior. Assim, uma concentração mineral ou qualquer tipo de contaminação, é denunciada pela amostragem de solos que se traduz numa anomalia nos respectivos elementos contaminantes. No entanto, apenas permite detectar anomalias próximo dos locais de origem, uma vez que a dispersão dos elementos no solo é reduzida. Por isso, a dispersão de elementos no solo é de menor grau do que na água, de modo que a amostragem de sedimentos de linha de água, é conveniente numa primeira instância, permitindo detectar zonas onde se esperam concentrações mais elevadas e onde é conveniente aprofundar o conhecimento dos teores, através da amostragem geoquímica de solos.



Mais uma vez, todos os procedimentos de uma campanha de amostragem de solos são pré-definidos na fase de planeamento da campanha de prospecção geoquímica de solos.

O horizonte B é geralmente o melhor para ser amostrado, pois é onde se acumulam os minerais argilosos e hidróxidos de Fe e Mn que tendem a absorver ou coprecipitar os elementos. Assim, as amostras são preferencialmente colhidas a 30 cm de profundidade. No entanto, em algumas áreas a concentração em elementos traço é maior no horizonte A devido a parâmetros bioquímicos, pois as folhas em conjunto com a ligeira alteração da rocha mãe, sofrem humidificação e resultam na formação de produtos que apreendem os metais.

A densidade de amostragem é estabelecida com base em grelhas quadrangulares ou rectangulares, cuja malha é espaçada de acordo com a área em questão, com a dimensão do alvo a procurar, com o detalhe que se pretende obter da concentração, com a mobilidade do elemento que se pretende amostrar, com a topografia e com a facilidade de acesso, que não constitui um factor primordial, mas que convém ter em conta por uma questão de poupar tempo.

Este tipo de amostragem é ideal em áreas de topografia pouco acidentada, com pouca rede de drenagem e de fácil acesso para não comprometer a definição da grelha. Em áreas muito dissecadas, é difícil a definição das grelhas e então faz-se a amostragem nas linhas de cumeada, que consiste num método de amostragem que em conjunto com a amostragem de sedimentos de linhas de água, permite uma boa cobertura da área. Normalmente, a grelha é quadrangular de 50 metros ou de 100 metros e mesmo quando a malha é mais reduzida, raramente é menor que 25 metros.

Na realização de uma grelha, normalmente estabelecem-se vários perfis de base paralelos ao longo dos quais se faz a amostragem, de modo a intersectar a área de interesse. Ao longo desses perfis de grelha, deve-se indicar afloramentos, linhas de água, tipo de terreno, tipo de plantações que os terrenos sustentam, cota aproximada em relação às linhas de água próximas, conteúdo orgânico, caminhos, ou seja todas as anotações de campo consideradas importantes.



A grelha serve de base ao sistema de numeração das amostras ou seja, estabelece-se os perfis de base com a nomenclatura desejada, que pode ser aleatório para despiste do laboratório e a partir daí, numeram-se todas as amostras realizadas ao longo de cada perfil. As amostras têm de ser localizadas geograficamente com exactidão a fim de evitar confusões.

Geralmente colhe-se aproximadamente 0,5 a 2 Kg de amostra, no entanto, dependendo do tipo de solo esta pesagem pode ser alterada uma vez que certos solos como os solos arenosos, apresentam menor percentagem de material fino, de modo que após a peneiração pode não dar pesagem suficiente para análise, sendo necessário a colheita de uma maior pesagem em campo.

A produtividade em campo pode variar de 50 a 80 amostras homem/dia perante condições de fácil acesso, porque caso contrário a produtividade reduz em grande parte.

No laboratório as amostras são secas, no forno a uma temperatura inferior a 65 °C de modo a não perder os elementos voláteis, e são peneiradas. Geralmente, a malha do peneiro é de 80 mesh, embora caso seja conveniente podem-se usar outras fracções. Depois de peneiradas, as amostras são preparadas com ataques ácidos para seguirem para análise.

Os resultados obtidos do laboratório são interpretados e apresentados estatisticamente sob a forma, por exemplo de diagramas de correlação, ou sob a forma de mapas de isolinhas, tal como para as campanhas geoquímicas de sedimentos de linhas de água. Estes mapas de isoteores podem indicar o local da amostra, o respectivo teor e o número da amostra, no entanto é importante que o mapa final não seja muito confuso por excesso de informação. Por vezes, também se apresentam os mapas de isoteores sem os locais da amostragem e sem os respectivos teores, sendo nesse caso necessário referenciar o padrão da grelha utilizada. No caso da utilização de grelhas irregulares, como é o caso das grelhas de linhas de cumeada, pode-se fazer a representação por mapas de pontos como se faz para as campanhas geoquímicas de sedimentos de linha de água.



2.3.2 -Prospecção hidrogeoquímica

A prospecção hidrogeoquímica consiste na recolha e análise de água em de linhas de água, rios, lagos e poços. Os métodos de prospecção hidrogeoquímica, são menos utilizados do que os métodos de prospecção litogeoquímica porque a água como meio de transporte, implica maior dispersão dos elementos e por isso maior dificuldade na detecção da fonte (Alloway, 1997).

A composição química da água depende principalmente dos minerais nela dissolvidos, ou seja a sua carga química consiste em iões e moléculas em solução, partículas coloidais e sedimentos levados em suspensão, microorganismos como bactérias, algas e gases dissolvidos cuja concentração depende da temperatura da água e da pressão parcial na atmosfera. Deste modo, os elementos formam complexos que são transportados pela água sob a forma de colóides.

A composição da água pode variar por alterações dos iões em equilíbrio, pela precipitação de componentes, pela reciclagem de elementos nutrientes que podem variar devido a actividade orgânica na água, por trocas com gases da atmosfera, por descarga de resíduos municipais e industriais, por mistura e diluição, de onde se conclui que a composição química da água também varia ao longo do canal.

Assim em locais de confluência de linhas de água "limpas", ocorre diluição de teores elevados e em locais de confluência de linhas de água contaminadas de origem natural ou antropogénica, de descargas de resíduos industriais, municipais, agrícolas e mineiros, há um aumento brutal dos teores. Do mesmo modo que para os sedimentos de linhas de água, os locais ideais de amostragem são antes dessas confluências, de modo a determinar automaticamente os segmentos de linhas de água contaminados (Alloway, 1997).



A água superficial dos rios e lagos deriva em parte de reservas subterrâneas, de modo que durante períodos de baixa precipitação é praticamente só essa água subterrânea a circular. A água subterrânea por sua vez depende da geologia da bacia de drenagem, uma vez que existe um contacto contínuo com as rochas por onde circula dissolvendo substâncias. Deste modo, a amostragem hidrogeoquímica é afectada sazonalmente. Assim, conclui-se que a água superficial varia dentro de certos limites, dependendo da meteorização (capacidade de diluição/concentração dos teores anómalos), das condições hidrológicas da bacia de drenagem, e consequentemente da composição mineral do "bedrock".

A amostragem hidrogeoquímica depende assim do intervalo de tempo, estação do ano e local onde foram colhidas as amostras, do tratamento e armazenamento das amostras e dos métodos de análise. Para uma correcta análise quantitativa da composição química, as amostras devem ser colhidas sistematicamente no mesmo local, em zonas cuja contaminação assumirá os valores mais elevados, nas várias litologias que constituem a rede de drenagem, em intervalos de tempo regulares no mínimo durante um ano, de modo a incluir uma estação seca e uma estação húmida. Devem-se medir certos parâmetros "in situ" como pH, Eh e condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido.

As amostras são colhidas no campo para um frasco de politeno limpo de 250 a 500 ml e lava-se o frasco duas a três vezes com a água que vai ser colhida. Para assegurar que os frascos não estão contaminados, devem ser lavados com um ácido metal forte, antes de serem levados para o campo. Na transferência das amostras do campo para o laboratório, é necessário ter cuidado com o armazenamento, com o transporte e com o tempo que demoram estes procedimentos.

Em laboratório, as amostras devem ser filtradas por membranas de 0.45 milímetros para remover partículas sólidas dissolvidas, microorganismos e partículas coloidais de maiores dimensões. No entanto, esta filtragem também retém uma fracção significativa dos iões da água. Depois da filtragem, as amostras de água são acidificadas para $\text{pH} < 3$ e refrigeradas para anular a actividade biológica, para prevenir a precipitação de algum metal presente e para combater a adsorção dos iões pelas paredes do armazenador (Alloway, 1997).



O modo de apresentação e interpretação de dados de prospecção hidrogeoquímica é semelhante ao utilizado para amostragem de sedimentos de linhas de água, no entanto é preciso ter sempre em conta que a interpretação dos dados de prospecção hidrogeoquímica, é dificultada porque se baseia num transporte hidromórfico que implica à partida maior dispersão.

No caso de linhas de água, os sedimentos provaram ser os melhores para amostrar, sendo preferível na maior parte dos casos. No caso dos lagos, percebeu-se que as águas são tão boas como os sedimentos do lago para amostrar, sendo preferível a amostragem de águas caso sejam homogéneas, pois são mais fáceis de colher e analisar do que os sedimentos e os elementos nas águas aumentam a sua concentração próximo da fonte, enquanto que os mesmos elementos nos sedimentos do lago, mostram uma grande variação dependendo da precipitação (Alloway, 1997).

A prospecção hidrogeoquímica tem alguns inconvenientes, como o facto de ser sujeita a grandes variações sazonais, grandes variações de teores em intervalos de tempo pequenos, reduzido conteúdo em elementos traço, facilidade de contaminação por factores antropogénicos e dificuldade na determinação da origem das anomalias devido à elevada dispersão que permite. No entanto, a prospecção hidrogeoquímica oferece-se como uma alternativa em muitas áreas. Como por exemplo, em áreas de exploração de urânio onde a mobilidade do urânio e do seu produto filho, rádón, é elevada e a relativa facilidade com que pequenas concentrações destes elementos podem ser detectados, fazem deste método um importante método de amostragem.



3 - Valorização de depósitos de caulino

3.1 - Extracção das areias cauliníticas

A primeira operação realizada é a remoção dos terrenos de cobertura da área onde o caulino será explorado. Após arroteamento, a película de terra arável é decapada numa superfície necessária à extracção, em Casal dos Braçais e em Mosteiros, a camada de terra vegetal é muito pobre a inexistente e em alguns lugares estas terras superficiais estão misturadas com areias e argilas matizadas. A armazenagem desta terra é efectuada em cercadura de mina a céu aberto, numa zona não explorada (Foto. 6).



Fotografia 6 – Lotes de terras de cobertura.

O desmonte é conduzido a céu aberto por degraus sucessivos, normalmente paralelos à inclinação das camadas geológicas, onde a altura das bancadas depende da espessura e das camadas, e a largura da circulação dos camiões, os quais acedem aos degraus por rampas inclinadas a cerca de 10% (Foto. 7).



Fotografia 7 – Exploração em bancadas

Os estéreis são loteados na mina a céu aberto, sendo usualmente constituídos por minério desclassificado ou material de baixa qualidade, e terras de cobertura (Foto. 8). Estes materiais no final da exploração têm um papel importante na recuperação paisagista.



Fotografia 8 – Lotes de estéril



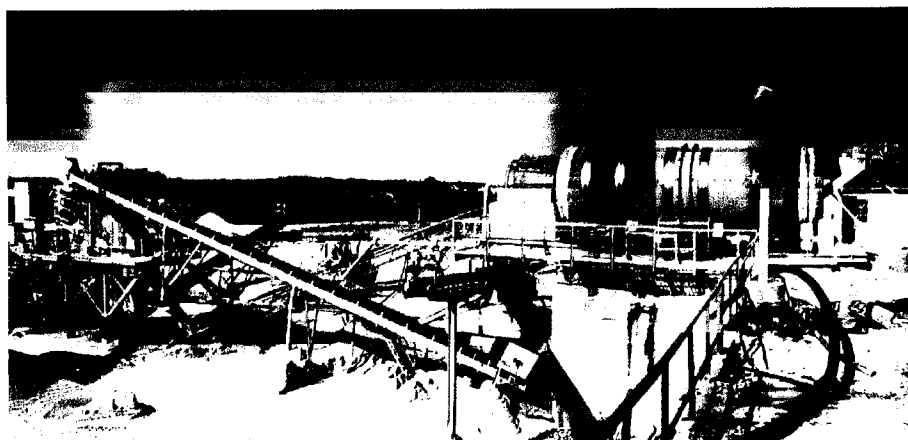
3.2 - Tratamentos do caulino

Só muito excepcionalmente as argilas, como o caso do caulino são utilizadas tal qual são extraídas. Em regra, são submetidas a tratamentos de grau de complexidade variado, tratamentos que se enquadram em dois grandes grupos, a refinação e a beneficiação.

3.2.1 - Refinação

Compreende processos essencialmente físicos que promovem o enriquecimento em finos de minerais argilosos, cujas partículas tem em regra, calibres inferiores a 2 μm . Dentro dos processos de refinação destacam-se os processos de lavagem, crivagem, sedimentação, centrifugação, hidrociclonação, aeroflutuação, delaminação, prensagem e secagem. Nas figuras 20 e 21 são apresentados como exemplos de esquemas de produção os casos de Casal dos Braçais e Mosteiros.

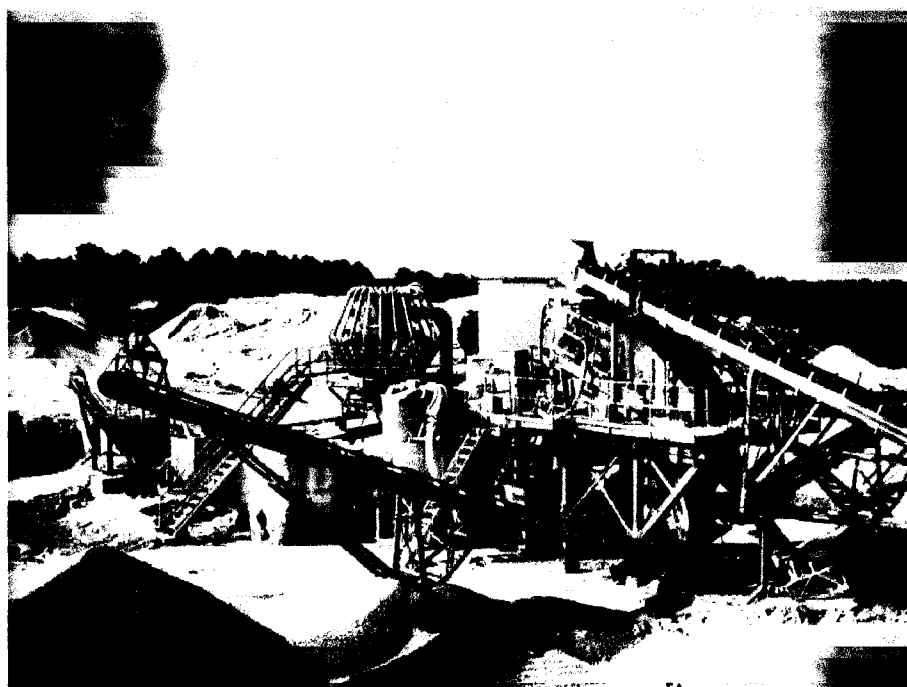
a) Lavagem – A partir do depósito de minério constituído por uma série de lotes, tantos quantos os produtos seleccionados durante a exploração a céu aberto, é efectuada uma primeira mistura (Foto. 9) de modo a controlar a qualidade desejada, para tal, as terras cauliníferas são introduzidas com a ajuda de uma pá mecânica, num tambor lavador denominado Tromel, para separar os torrões argilosos e as areias grossas onde as partículas de diâmetro superior a 8 mm são separadas e a areia essencialmente silíciosa é transferida por uma banda transportadora para um sistema de crivos para classificar a areia e eventualmente vender para construção civil.



Fotografia 9 – Da direita para a esquerda, tromel e crivos de selecção granulométrica.

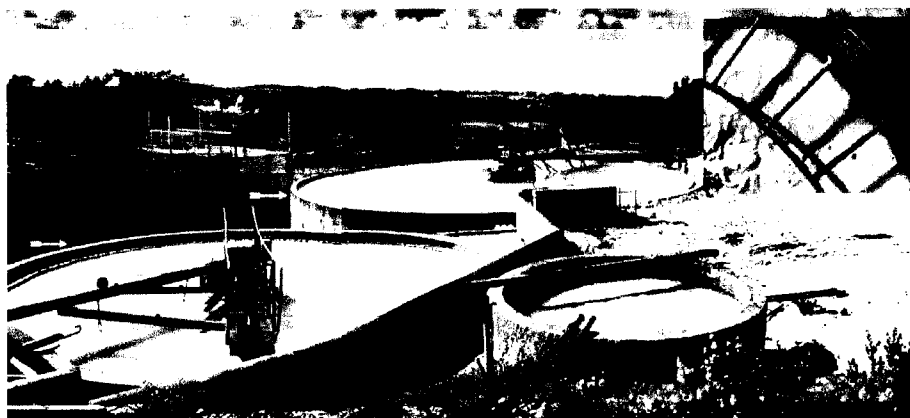
Da lavagem resulta uma polpa, contendo partículas de dimensão $<700\ \mu\text{m}$ (caulino e areia fina), que passa para a fase seguinte da produção.

b) Hidrociclonagem – Varias etapas de ciclonagem em meio húmido, permitem separar fracções de menores dimensões ou seja valores do tipo $<40\ \mu\text{m}$, comercialmente denominada caulino que mineralogicamente é constituída de caulinite, de quartzo, de micas e de feldspatos, ou $<60\ \mu\text{m}$ que comercialmente é denominada areia extrafina e é aplicável na industria cerâmica e em revestimentos (Foto. 10).



Fotografia 10 – Hidrociclone

c) Decantação – Após as separações por ciclonagens, a densidade de polpa baixa portanto, deve ser aumentada antes da filtração, esta operação é realizada dentro de um decantador (Foto. 11) onde são adicionados flocculantes que são utilizados para permitir uma sedimentação e uma compactação mais rápida do caulino. A proporção de flocculante acrescentada é rigorosamente controlada através de uma central de dosagem. Os componentes químicos do flocculante são macromoléculas orgânicas biodegradáveis, de acção catódica que se fixam sobre as partículas de caulino para as aglomerar, e assim aceleram a sedimentação (pormenor da Fotografia 11).



Fotografia 11 – Tanques de floculação e pormenor da floculação a ocorrer dentro do cilindro principal do tanque de floculação.

d) Homogeneização – O caulino obtido do fundo do decantador é bombeado e armazenado numa cuba de homogeneização (Foto. 12), esta operação permite o controlo de qualidade do produto, e de dispor de uma certa reserva tampão para o funcionamento do resto do tratamento.



Fotografia 12 – Base colectora do tanque de homogeneização

e) Prensagem – Esta operação consiste em reduzir a humidade do minério, aproximadamente 27% de água para a prensagem, por um sistema de filtro-pransa com uma série de bombas que procedem ao enchimento dos filtros e à sua prensagem. Na saída das prensas, o caulino vendável húmido encontra-se em “galettes”, sendo posteriormente armazenado em zona coberta com o se pode ver na Fotografia 13.



Fotografia 13 – Da esquerda para a direita, secador, filtros prensa e lotes de caulino.

f) Secagem do caulino - Alguns mercados cerâmicos necessitam da utilização de caulino seco só até 13% de humidade, o caulino húmido vendável é então retomado por uma carregadora que alimenta uma caixa doseadora cuja função é a de cortar as “galettes” de caulino e de regular o débito antes da secagem, que se inicia com um amassador que produz cilindros de 11 mm de diâmetro e abastece os corpos do secador propriamente dito, este último funciona sobre o caulino com um gerador propulsor de ar quente, a gás. O produto final é conduzido por transportadores fixos dentro de compartimentos próprios. Em seguida é vendido a granel ou acondicionado em “big-bags”.



3.2.2 - Beneficiação

A beneficiação recorre a processos químicos e físico-químicos que promovem a qualidade da argila, por modificação de certas propriedades como a cor, plasticidade, reologia, etc., os métodos mais aplicados na indústria, ao caulino são:

a) Caulino calcinado – A calcinação entre 800 a 1000 °C confere ao caulino calcinados propriedades muito particulares com forte interesse em certas aplicações industriais. Este método promove a agregação das partículas individuais em pequenos agregados porosos, estas partículas compostas resultam de uma sinterização incipiente, têm maior dureza e consequentemente maior resistência à abrasão do que as partículas individuais. Comparados com o caulino não calcinado, quando utilizado em papel confere mais opacidade e reflectância. É utilizado como reforçador em tintas, em borrachas e em plásticos.

b) Caulino estruturado – O objectivo final deste método é idêntico ao da calcinação, mas o meio utilizado é diferente. Assim, as partículas individuais do caulino são estruturadas quimicamente de modo a provocar a agregação por floculação. Os agregados formados, são menos resistentes à abrasão do que os agregados do caulino calcinado.

c) Caulino delaminado – No caulino com grão dimensionalmente pouco heterogêneo onde sejam frequentes cristais espessos, utilizando a delaminação, é possível reduzir a espessura e o diâmetro desses cristais com reflexos muito importantes no melhoramento de certas propriedades reológicas como a diminuição da viscosidade por redução da espessura dos cristais. Este método promove a clivagem dos cristais, particularmente a basal, ao permitir a exposição de superfícies internas isentas da pigmentação relacionada com a fixação de impurezas cromóforas, características das superfícies exteriores dos cristais no meio natural, resultando numa beneficiação da cor do caulino, parâmetro importante para a qualidade do caulino. Faz-se, agitando rapidamente uma suspensão aquosa de caulino na presença de 25 a 50% de esferas de plástico ou areias de quartzo situado entre crivos de 18 a 50 "mesh". A taxa de delaminação é função da distribuição dimensional do grão do caulino. As partículas de maior diâmetro e espessura são mais delaminadas do que as de menor diâmetro e espessura.



3.2.3 - Valorização

As argilas em geral, são dos recursos minerais que permitem maior número e diversidade de aplicações, sendo esta situação consequência dos parâmetros específicos, das argilas e dos depósitos associados, como: granularidade muitíssimo fina e a forma anisométrica, lamelar, tubular ou fibrosa dos minerais argilosos, com relações diâmetro/espessura (no caso de hábito lamelar) e comprimento/diâmetro (no caso de hábito fibroso ou tubular) muito elevados; diversidade estrutural e química dos minerais argilosos; superfície específica, grande e variada (5 a 200 m²/g); granularidade fina no estado natural, facto que permite que para muitas e importantes aplicações seja dispensável moagem ou, quando esta for exigida, seja simples e rápida; carga eléctrica na superfície dos minerais argilosos, responsável pela capacidade de troca iónica devida, essencialmente, a substituições atómicas isomórficas e a ligações químicas interrompidas ou quebradas; os consequentes défices na carga eléctrica dos cristais (carga que, em regra, é globalmente negativa) são balanceados pela fixação irreversível dos chamados catiões de troca; inércia química e forte poder adsorvente e absorvente; dispersão fácil em água ou outros solventes proporcionando suspensões, estáveis ou instáveis, função do pH do meio dispersor o qual pode ser controlado; reologia muito própria que também pode ser controlada e modificada; dimensão notável dos depósitos, onde a argila apresenta uma certa homogeneidade; extracção fácil, quase sempre a céu aberto, dada a ocorrência superficial da maioria dos depósitos; refinação fácil, em regra, por via húmida (Gomes, 1986).

Segundo Velho et al. (1998) dos sectores industriais que utilizam o caulino podem ser destacados:

a) Cerâmica – A maioria das aplicações encontram-se no sector da cerâmica, onde as propriedades esperadas das argilas são a plasticidade e o endurecimento após a cozedura. As areias cauliníticas e os caulinos, são muito refractários e possibilitam a produção de faiança doméstica, sanitária e ainda porcelana branca e translúcida.



b) Cimento – Os cimentos são produzidos, na maioria dos casos por pulverização dos materiais obtidos da calcinação de calcário. Em alguns casos, são utilizados caulinos com baixos teores em ferro para a produção de cimentos brancos.

c) Papel – A argila quando é incorporada no papel tem duas funções distintas: como carga e como cobertura ou revestimento. No primeiro caso a função da argila é aumentar a massa específica ou gramagem do papel enquanto que no segundo caso ela permite melhorar o acabamento da superfície do papel, tomando-a mais lisa, mais branca e mais brilhante. O caulino é a argila mais usada no papel. Mas outras argilas especiais, todavia em muito menor quantidade, são também empregadas no papel quando este pretende ter determinadas funções, como são os casos de bentonites e argilas fibrosas. As argilas utilizadas no papel necessitam de satisfazer determinadas características que, normalmente, são obtidas por tratamentos físicos e químicos mais ou menos complexos. Assim, na selecção de caulinos para papel, devem ser avaliadas as propriedades seguintes: distribuição dimensional do grão (o corte superior é ou 20, ou 10 ou 2 μm), grau de brancura, composição química, superfície específica, forma dos cristais de caulinite e quantidade e forma dos cristais de haloisite quando esta estiver presente, viscosidade Brookfield (avaliada para baixa tensão de cisalhamento, 10 a 20 rpm e para alta tensão de cisalhamento, 100 a 200 rpm).

d) Borracha – Argilas caulínicas e caulinos são utilizados como cargas reforçadoras da borracha, uma vez que quando incorporados na borracha conferem a esta propriedades mecânicas superiores às da borracha vulcanizada e sem carga. O outro reforçador activo e habitual da borracha é o negro de fumo. As características físicas e químicas das cargas inorgânicas que lhes conferem o poder reforçador ainda não estão totalmente esclarecidas. Sabe-se, contudo, que um dos parâmetros mais influentes é a superfície específica da carga (dependente da granulometria ou melhor da distribuição dimensional do grão, da morfologia das partículas e do estado de agregação das partículas). Os caulinos utilizados em borracha representam cerca de 17% do valor global das cargas (o negro de fumo representa cerca de 50%) e classificam-se em duros e moles, os primeiros conferindo à borracha vulcanizada maior resistência mecânica à abrasão do que os segundos. Os caulinos duros, como especificação granulométrica devem possuir 80% das partículas com d.e.e. $<2 \mu\text{m}$, enquanto que os caulinos moles devem possuir 56% das partículas com d.e.e. $<2 \mu\text{m}$.



e) Pásticos e tintas plásticas – Argilas caulíníticas e caulinos podem ser incorporados como carga em plásticos, porque lhes conferem maior resistência mecânica ao impacto e à tensão, maior resistência à água, melhor estabilidade dimensional e química, melhor superfície de acabamento, maior opacidade maior durabilidade. Tanto podem ser incorporadas na forma hidratada como na forma calcinada. Actuam como extensores e cargas funcionais. O caulino é incorporado, normalmente, nos termoplásticos poliésteres, tereftalato de polietileno (PET), tereftalato de polibutadieno (PBT) e nos termoplásticos, cloreto de poli vinil (PVC) e nylon. Estes materiais são utilizados em revestimentos de fios e cabos eléctricos, em automóveis e em pavimentos de vinil. Os teores de incorporação de caulino variam entre 20-40% em peso. A alvura e baixo custo da carga constituem as principais razões do uso das cargas referidas. Na indústria de tintas plásticas a argila, caulino, argila caulínítica ou argila esmectítica, funciona como carga é quimicamente inerte e funciona ainda como agente suspensor impedindo a sedimentação dos pigmentos, O elevado grau de finura da argila e a forma lamelar das suas partículas, confere à tinta elevado poder de revestimento. A argila é usada principalmente como extensor do TiO_2 , que é muito mais caro, em tintas em base de solventes. Em tintas em base de água a argila serve para se conseguirem certas propriedades reológicas das tintas. Os minerais argilosos são hidrofílicos, podendo por isso ser dispersos facilmente em água ou noutros solventes polares. Podem, no entanto, ser modificados de modo a se tornarem hidrofóbicos e organofílicos.

f) Metalurgia – A argila, na produção de moldes, funciona como aglomerante dos grãos de areia e confere resistência mecânica, em verde, em seco e em quente, conveniente para a utilização. No fabrico dum molde normal intervêm cerca de 10-15 partes em peso de argila, cerca de 80 a 90 partes de areia e cerca de 5 partes de água. As argilas bastante plásticas, podem ser usadas como aglomerante nestes moldes, é o que sucede com certas argilas caulíníticas do tipo "ball-clay".



g) Fibra de vidro – O mercado da fibra de vidro tem vindo a desenvolver-se devido particularmente à indústria automóvel, onde muitos componentes são feitos em fibra de vidro. De facto, a fibra de vidro tem substituído metais, madeira e outros materiais. Só nos EUA, em 1995, foram consumidas 390 000 toneladas de caulino para produzir fibra de vidro. Esta também pode ser feita a partir de pirofilite e argila pirofilitica, embora estas matérias primas possuam menos alumina (18 a 21%) do que o caulino (37%). Na Europa Ocidental consomem-se cerca de 150.000 toneladas por ano de caulino para se fazer fibra de vidro. O grau de qualidade típico do caulino para fibra de vidro é o seguinte: 44% SiO_2 ; 37% Al_2O_3 ; 0,6% CaO ; <2% Na_2O ; <0.5% de Fe_2O_3 e <1% H_2O . Para o efeito, é mais conveniente o caulino separado por aeroflutuação do que o separado por meios hidráulicos, porque o primeiro é mais barato.

h) Refractários – No fabrico de refractários silico-aluminosos e aluminosos utiliza-se como matéria prima mineral básica argila caulinítica de mediana a elevada refractaridade dos tipos "ball-clay" e "fire"clay" ou ainda caulino. De qualquer modo, a argila deve possuir refractaridade não inferior a 1 500°C. Certas argilas cauliníticas, relacionadas com bauxites, possuem mais alumina do que a normal, porque contêm hidróxidos de alumínio livres: gibsita, boemite e diásporo. Todas as argilas cauliníticas e caulinos utilizados em refractários devem conter teor em "ferro+álcalis" o mais baixo possível. Da sua calcinação a temperatura elevada resulta a chamada chamota, que adicionada a ligantes argilosos adequados é utilizada no fabrico de refractários.

IV - Geologia Regional e Local

1 - Dados Geográficos e Geomorfológicos

As Minas de caulino, objecto de estudo desta Tese de Mestrado, encontram-se localizadas na região da Estremadura (Fig. 22), na área geográfica compreendida entre Santarém e Peniche. A Mina de Braçais (concessão C-19) tem 120,5 hectares e situa-se no lugar de Casal dos Braçais, a aproximadamente 6,5 quilómetros a norte da localidade Serra de El Rei na estrada Óbidos-Peniche,. A Mina de Mosteiros (concessão C-3) tem 405,5 hectares e situa-se a aproximadamente um quilómetro a oeste sudoeste de Mosteiros.

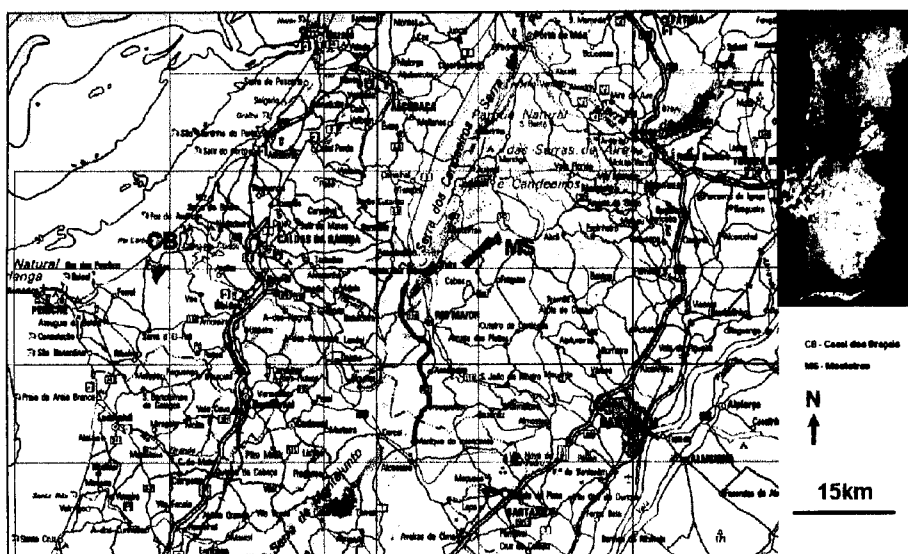


Figura 22 – Enquadramento geográfico das áreas estudadas.

A região é de clima temperado (Instituto de Meteorologia, 2002), elevada humidade, mesotermia e grande falta de água no período de Verão. A amplitude das variações térmicas oscila entre 35° a 45° C sendo a exposição (Fig. 23) anual ao sol de 2300 a 2400 horas, com um mínimo de 110 horas durante os meses de Janeiro e Fevereiro e um máximo de 290 horas durante os meses de Julho e Agosto. As radiações globais atingem valores de 145 Kcal/cm².

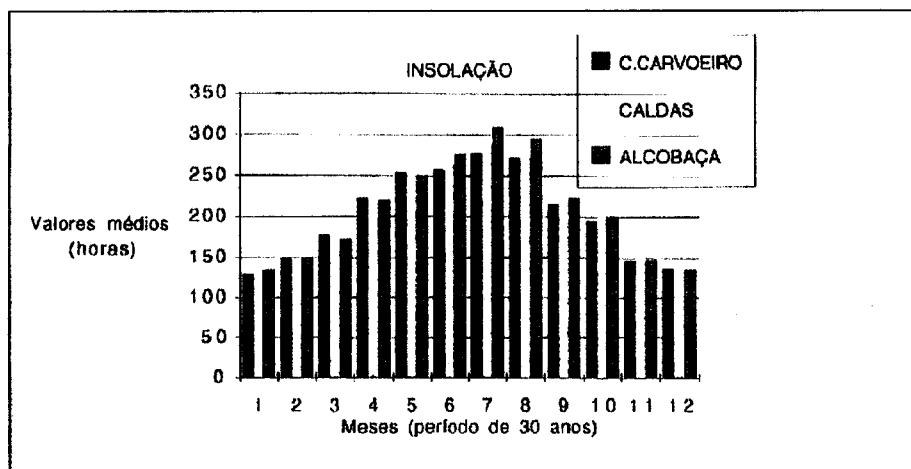


Figura 23 – Insolação Média da Região, (SAGA, 1995).

As precipitações (Fig. 24) anuais oscilam entre 500 e 1500 mm em 60 a 150 dias por ano. A humidade relativa do ar apresenta valores médios anuais de 75 a 80% e a evapotranspiração real encontra-se cerca de 600 mm. Verificam-se geadas entre Novembro e Março (Instituto de Meteorologia, 2002).

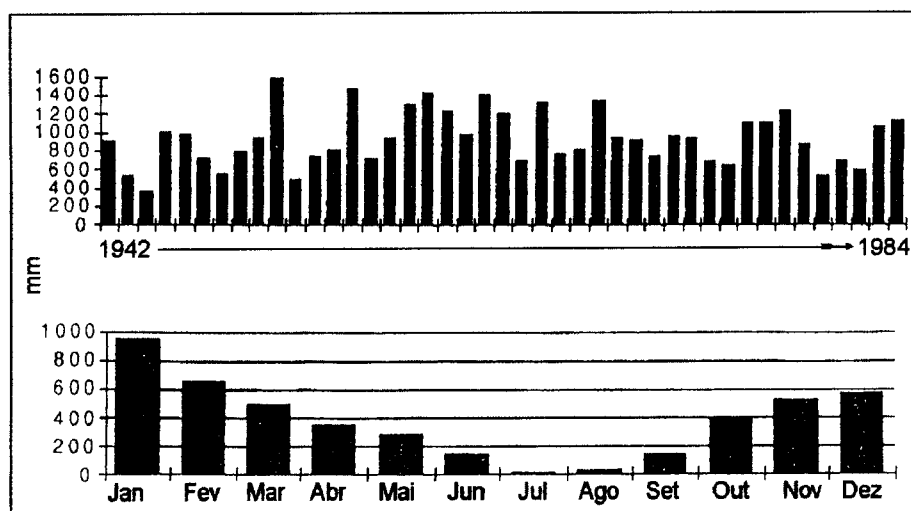


Figura 24 – Precipitação Média da Região, (SAGA, 1995).

Os ventos são frequentes (Fig. 25), sendo os mais importantes os ventos marítimos de Norte e Noroeste. A temperatura do ar apresenta valores médios anuais de 13 a 15 °C (Instituto de Meteorologia, 2002).

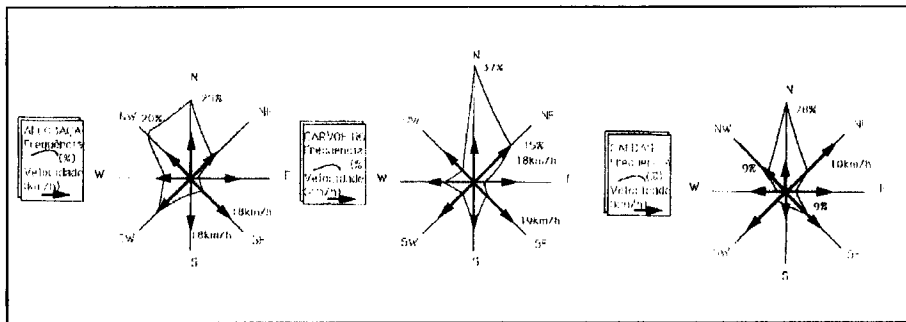


Figura 25 – Direcções e frequências predominantes e intensidade média dos ventos na região, (SAGA, 1995).

A geomorfologia da região é caracterizada pela plataforma de Aljubarrota e pelo “Vale Tifónico” de Caldas da Rainha (Zbyszewski G., Montenegro de Andrade M. 1957). Esta região apresenta uma superfície de erosão talhada em formações Mesozóicas areníticas ou margosas, ligeiramente inclinada para Oeste. O “Vale Tifónico” de Caldas da Rainha coincide com o núcleo de uma estrutura diapírica perfurante onde afloram margas do Hetangiano, com gesso e sal-gema de comportamento acentuadamente plástico. No interior desta estrutura encontram-se sedimentos arenosos do Pliocénico, geralmente interpretados como consequência de erosão diferencial provocada pelo mar ao invadir uma depressão existente ou eventualmente uma cobertura sedimentar de características uniformes que é posteriormente afectada por processos tectónicos (Fernandes Martins, 1949). Caracteriza-se, também, pela presença de vales aluviais largos e colinas que culminam a cerca de 80 a 100 metros onde os taludes principais apresentam orientação Norte-Sul com cerca de 1% de inclinação. Os rios são largos e sinuosos. Outro aspecto geomorfológico regional é a edificação dos cordões de dunas antigas, perfeitamente estabilizadas.

No caso da Mina de Mosteiros, a região denominada por Maciço Calcário Estremenho, apresenta um relevo condicionado por dobras e falhas, onde importa distinguir os antiformas de Aire, Candeeiros e Alqueidão, orientados NE-SW ou NNE-SSW. Os antiformas localizam-se na zona periférica do maciço, enquanto os sinformas esboçados no interior, provavelmente a favor das grandes falhas transversais. São localizados nas depressões de Alvados, Minde e Mendiga, e ainda as cuvetes do Vale da Serra e do Vale da Trave, dispostas no reverso das escarpas que dominam a SE, a bacia terciária do Tejo. Para o extremo Sul do maciço, no sopé oriental da Serra dos Candeeiros, próximo de Rio Maior, um acidente tectónico de idade Tifónica trouxe à superfície margas do Hetangiano. O sistema de falhas e os materiais eruptivos imprimem marcas no terreno com algum significado, contribuindo para a formação de estruturas que permitem o aprisionamento de sedimentos Pliocénicos (Fernandes Martins 1949).

2 - Enquadramento geológico e estrutural

A geologia da área apresenta-se definida nas Folhas 26-C, 26-D e 27-A, à escala 1:50.000, da Carta Geológica de Portugal, elaborada pelo Instituto Geológico e Mineiro de Portugal. A região pertence à Orla Ocidental e encontra-se limitada a Leste pelo Maciço Calcário Estremenho e a Oeste pelo Vale Tifónico de Caldas da Rainha (Fig. 26).

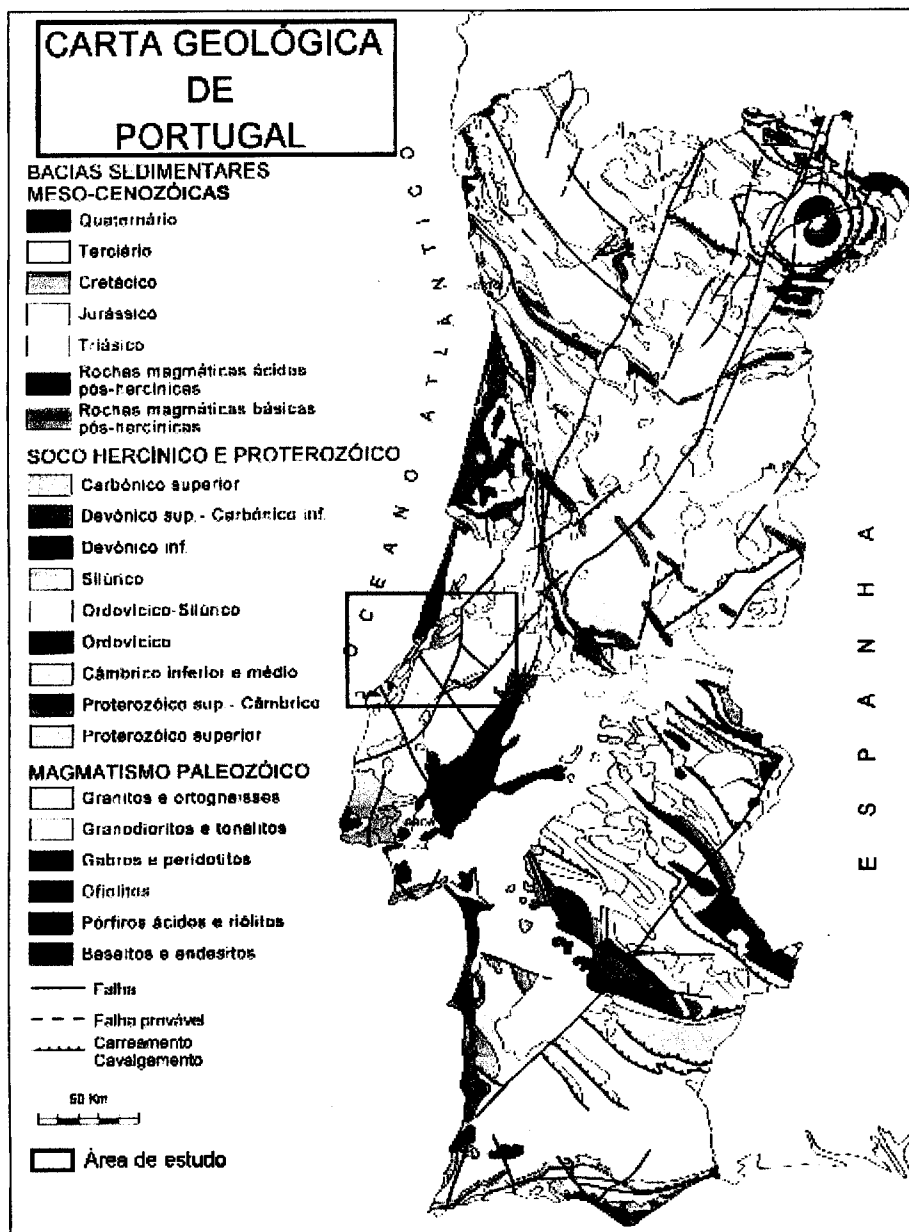


Figura 26 – Cartografia de Portugal (Instituto Geológico e Mineiro). Enquadramento geológico e estrutural.



Figura 27 – Enquadramento Geológico (Carta Geológica de Portugal 1:50000 - IGM).

O estudo geológico decorreu em terrenos do Mesozóico com cobertura do Cenozóico (Fig. 27) constituídas pelos sedimentos que resultam através de processos de erosão das rochas do Maciço Central. De um modo geral, as litologias sedimentares variam entre grés, pelitos, dolomitos, calcários e margas. Podemos também encontrar depósitos aluvionares recentes, dunas e depósitos de praia.

Segundo Galopim de Carvalho (1968), os calcários da região para além da fracção carbonatada, constituinte principal destas rochas, contêm maiores ou menores quantidades de argila e detritos arenosos. As fracções arenosas são constituídas, geralmente por grãos de quartzo hialino, límpidos, algo brilhantes. Os minerais pesados, estão representados por espécies de grande resistência como a turmalina, andaluzite, estauroilite, zircão e rútilo. Da fracção argilosa, a caulinite é o mineral predominante, à qual se associam em menor quantidade, a ilite e montmorilonite. Os dados granulométricos obtidos por Galopim de Carvalho (1968) fornecem informações sobre o regime de sedimentação e sua evolução, definindo a fracção areno argilosa como procedente de um ambiente fluvial com evidentes variações de competência testemunhadas no tempo e no espaço.



Durante o Mesozóico e parte do Cenozóico as estruturas com orientação NE-SW e NNE-SSW tiveram um comportamento distensivo (i.e., Pena dos Reis, 1998). Durante a orogenia Bética, o bordo ocidental da Placa Ibérica sofreu uma deformação compressiva e a primeira fase de rifting iniciada no Triásico Superior, que precedeu o aparecimento do Atlântico Central. Levou à génese de um sistema de grabens e semi-grabens sub-meridianos, limitados a Oeste pelo alinhamento do Banco da Galiza-Berlengas. Durante o final do Jurássico e o início do Cretácico, a rotação da Placa Ibérica em torno do pólo situado a Oriente, ocasiona um contexto de extensão NNE-SSW a NE-SW. Do Valanginiano ao Campaniano a Placa Ibérica acelera a sua rotação anti-horária e no Aptiano deu-se a completa separação da Ibéria e da Terra Nova, com a implantação da dorsal oceânica no sector adjacente à Bacia Lusitânica. A acreção oceânica no Golfo da Biscaia iniciou-se no final do Albiano. Durante o Campaniano ocorreu uma importante actividade tectónica, associada a diapirismo vulcânico, dando-se a intrusão de complexos anelares subvulcânicos. A partir do Luteciano médio, a tectónica de blocos compartimentou o soco Hercínico e os sedimentos recobriram em duas grandes fossas com eixo NE-SW, a do baixo Tejo e do Mondego. No final do Miocénico, as fases tectónicas compressivas da orogenia Bética desencadeiam os grandes levantamentos das montanhas ocidentais (NNW de Portugal), Cordilheira Central Portuguesa, Maciço Calcário Estremenho e montanhas submarinas.



2.1 - Geologia regional

Durante as décadas de 40 e 50, o Professor Doutor Georges Zbyszewski estuda a região da Estremadura e contribui com a publicação de vários documentos relativos ao Cretácico e com a cartografia geológica da região.

Em 1972 o Professor Doutor Jacques Rey publica, a Tese de Doutoramento sobre "Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estremadura (Portugal)" onde estuda, as unidades estratigráficas, estruturais e a paleontologia do Cretácico inferior da Estremadura, contribuindo com uma interpretação da história geológica da região.

Os trabalhos de Thadeu (1956) e os de Rey (1972), definem a história geológica da Estremadura, marcando o ponto de partida na fase final do Paleozóico e da Orogenia Hercínica, onde se supõem o final da edificação do soco cristalino da Meseta Ibérica num ambiente continental. Os sedimentos do Pliocénico foram estudados por, Galopim de Carvalho (1968) e Pena dos Reis et al. (1992) que definem a Bacia Lusitânica, como uma das bacias marginais atlânticas que se formou durante uma fase de rifting no final do Triásico. Altura em que, por volta do Rhaetiano (205 Ma), aparecem as primeiras sequências sedimentares marcadas pela presença de grés-conglomeráticos, cujas origens são provavelmente associadas ao transporte por grandes rios e redes fluviais (Rey, 1972). Sabe-se que possui cerca de 5 km de espessura máxima de sedimentos e estende-se em "onshore" por cerca de 320 km Norte-Sul e 180 km Este-Oeste, com uma extensão considerável "offshore" para Oeste e Norte. Neste registo, identificam-se quatro grandes etapas de enchimento que possuem uma clara correspondência com as fases de estruturação do Atlântico e estão representadas por sequências limitadas por discordâncias estratigráficas (Pena dos Reis, 1992).

No início do Jurássico (Liásico), aproximadamente 202 Ma o que corresponde ao Hetangiano, dá-se uma primeira transgressão marinha que contribui para a formação de margas gressosas e salíferas, e calcários dolomíticos. Enriquecendo progressivamente as litologias em margas e calcários ricos em fauna marinha até ao Toarciano (180 Ma). Aparentemente a transgressão é acompanhada por um afundamento do soco Hercínico, favorecendo a instalação de um golfo aberto a SW. Durante todo o Jurássico Médio o contorno marítimo é estável e a sedimentação decorrida é de origem carbonatada (Rey, 1972).

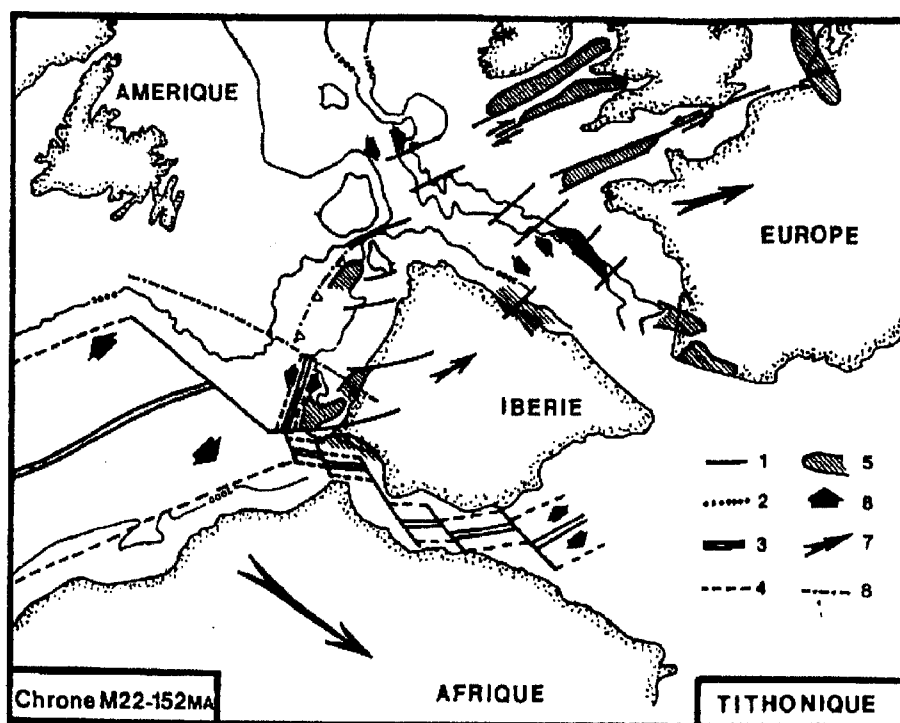


Figura 28 – Placa Ibérica no final do Jurássico. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).

Durante o Caloviano (160 Ma) ocorreu uma tendência de regressão marinha curta seguida de um impulso transgressivo, durante o Oxfordiano (154 Ma) até ao Kimmeridgiano (150 Ma) (Fig. 28). Altura em que se dá uma regressão, na parte setentrional e central da Estremadura, deixando a sedimentação marinha para a região a Sul do paralelo de Torres Vedras e a Norte regista-se o início da sedimentação continental, especialmente nas regiões de Leiria, Coimbra e Aveiro (Rey, 1972). O registo sedimentar pós-Aptiano inferior justificou uma proposta de síntese com duas unidades sedimentares independentes (Pena dos Reis, 1992).

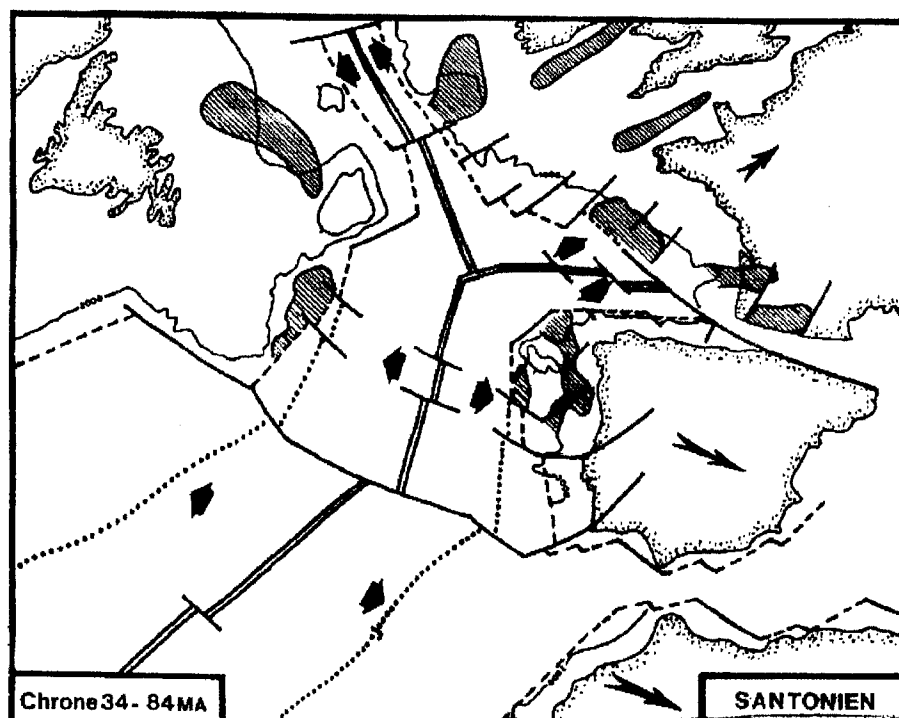


Figura 29 – Placa Ibérica no final do Cretácico. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).

No final do Mesozóico, durante o Cenomaniano (93 Ma), dá-se uma nova e curta transgressão até ao Turoniano (90 Ma), altura em que se inicia uma regressão acompanhada durante o final do Senoniano de movimentos orogénicos relacionados com a intrusão de basaltos na região de Sintra (Fig. 29).

Na Figura 30 podemos observar quatro esquemas que representam as direcções das paleocorrentes que deram origem aos sedimentos do Mesozóico. Nesta figura estão representados os níveis batimétricos e a respectiva linha de costa proposta por Rey em 1972.

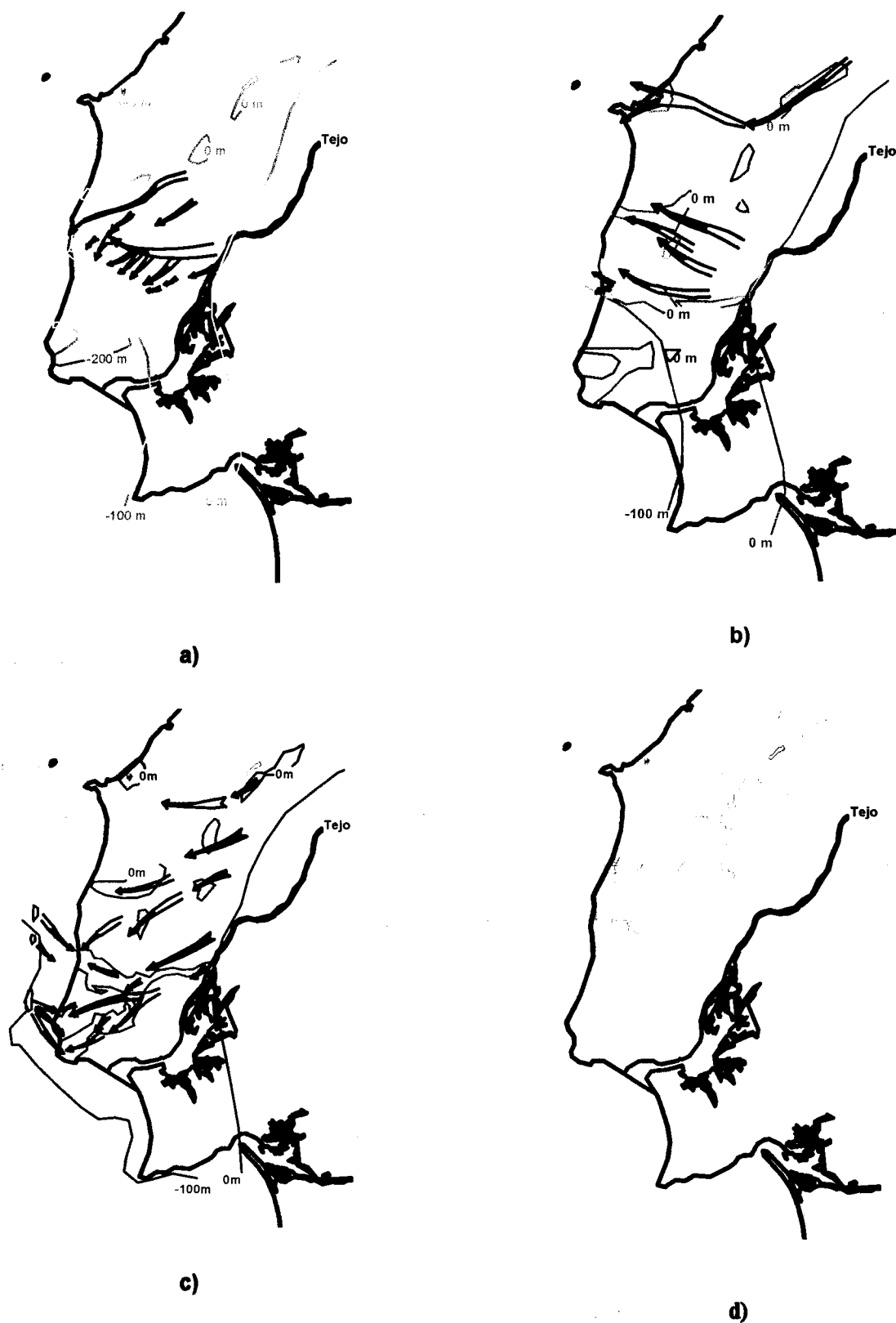


Figura 30 – Representação das direcções das paleocorrentes na Estremadura (Rey, 1972), durante: a) Berriasiano (144-137 Ma); b) Barremiano (127-121 Ma); c) Aptiano (121-112 Ma); d) Actualidade.



Deste modo, segundo Rey (1972) define-se a estratigrafia do Cretácico Inferior da região, dividindo-se em quatro Unidades Estratigráficas que se sobrepõem aos calcários do Jurássico e são base das unidades recentes do Cenozóico:

1 – A Periferia do maciço de Sintra e do domo do Brouco, caracterizada por calcários desde o Berrisiano (121 Ma), que passam a margas-calcárias que evoluem até ao Apatiano (112 Ma) e para calcários recifais, até à edificação do grés superior D'Almargem durante o Albiano (99 Ma).

2 – A Serra da Arrábida e região da Ericeira é dominada por níveis carbonatados e arenitos de ambientes menos profundos. A série é idêntica à Unidade de Sintra e domo do Brouco, em termos de ambiente marinho.

3 – Nas Bacias de Runa e Torres Vedras encontram-se séries sedimentares detríticas completas com uma representação muito forte de ambiente fluvial e deposição de argilas.

4 – Bacias de D'Olhalvo, Abrigada, Cercal, Alcanede e Galiota, detrítico com lacunas importantes:

a) D'Olhalvo e Abrigada – Grés feldspático e argilas do Berriasiano (137 Ma), seguidas de argilas, silts e finalmente grés branco do Albiano (99 Ma). Sendo os sedimentos do Valanginiano ao Apatiano (132 a 112 Ma) aparentemente ausentes;

b) Cercal – Grés branco, de aparência litológica indicadora do Valanginiano seguidas de siltes e argilas escuras, de grés branco com seixos e finalmente o grés D'Almargem do Albiano (99 Ma). Sendo os sedimentos do Barremiano (121 Ma) ao Apatiano (112 Ma) aparentemente ausentes;

c) Galiota – O grés branco com seixos, que vem da associação com as argilas do Jurássico, passa a siltes e argilas do Hauteriviano (127 Ma), e ao grés cinza do Barremiano Inferior (121 Ma). A lacuna importante é do Berriasiano (137 Ma);

d) Alcanede – A lacuna do Berriasiano mantém-se. O Valanginiano (132 Ma) é marcado pelo grés branco, evoluindo durante o Cretácico para siltes vermelhos, grés esverdeados, até ao Albiano (99 Ma) com grés amarelo ou branco com seixos e siltes argilosos de várias cores. O Barremiano superior (121 Ma) e o Aptiano (112 Ma), não são identificados.



Durante o Cenozóico (65 Ma) até à actualidade, a linha de costa da Península Ibérica, já era muito próxima da que conhecemos actualmente (Fig. 31). Durante o Terciário é possível diferenciar 7 unidades sedimentares (Pena dos Reis et al, 1992). Uma importante regressão ocorreu durante o Paleogénico (65 a 24 Ma), com a retirada das águas para Oeste e para Sul. As formações sedimentares continentais aparecem cortadas pelas camadas basálticas na região de Lisboa, ao mesmo tempo que novos movimentos orogénicos invertem a repartição das áreas de erosão e sedimentação. Estas formações continentais foram definidas em várias localidades (Galopim de Carvalho, 1968). Apresentam interrupções ao longo da orla ocidental desde Lisboa até perto de Tomar, onde são atribuídas denominações locais aos vários complexos detríticos. Essas interrupções devem-se a vários desligamentos devidos a falhas (orientadas na direcção NW-SE) originadas por movimentos neotectónicos e por reactivação de falhas mais antigas (Rey, 1972). No Paleogénico podem identificar-se cerca de três sequências sedimentares ligadas por inconformidade em que a última camada passa para o Neogénico (Pena dos Reis et al., 1992).

O Neogénico (23 a 1.8 Ma) é marcado por um avanço do Mar na fossa do Tejo seguido de uma transgressão. Localmente e nos sedimentos pertencentes ao Miocénico, observam-se registos que marcam a abertura ao mar das bacias de sedimentação, onde precipitavam rochas de origem química, passando a um regime de sedimentação detrítica. Durante o Pliocénico os sedimentos são arenosos, por vezes diatomíticos e ligníticos, e encontram-se no topo das colinas (Galopim de Carvalho, 1968).

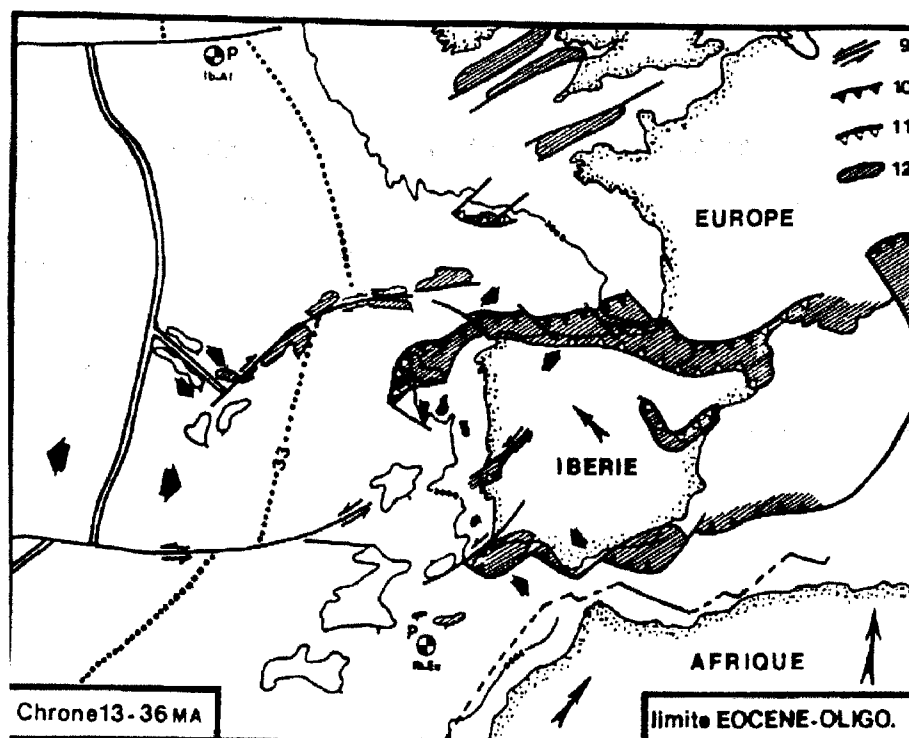


Figura 31 – Placa Ibérica durante Paleogénico Superior. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).

Pena dos Reis et al. (1992) sugere 6 sequências sedimentares ligadas por inconformidades para o Neogénico. A mais profunda denominada por UBS 9, aparece na zona vestibular da Bacia do Tejo e na zona imersa. O registo denominado UBS 10 apresenta uma sequência fluvial positiva de arcoses conglomeráticas de cor laranja a passarem para arcoses e argilitos com crostas carbonatadas e calcários, alterados em minerais argilosos dominantes, esmectite e caulinite.

Os registos UBS 11, 12 e 13 consistem essencialmente em depósitos aluvionares grosseiros correspondentes às cadeias montanhosas que envolvem a Estremadura. O registo UBS 11 é caracterizado por litoarenitos, grauvaques, brechas e conglomerados, de cor cinza a avermelhada, com clastos de rochas metasedimentares e quartzo leitoso, alternando com argilitos, (esmectite e ilite). O registo UBS12 apresenta conglomerados vermelhos, litoarenitos e argilitos, com concreções calcárias e clastos de quartzo leitoso e quartzito, como minerais argilosos dominantes e em quantidades semelhantes aparecem, ilite e caulinite.



O Registo UBS 13 na área emersa é composto por sedimentos continentais como conglomerados, arenitos grosseiros e argilitos, que passam por transição a sedimentos marinhos de pouca profundidade como lignhitos, diatomitos e "lumacheles". Estes sedimentos são essencialmente de cor amarelo claro a branco, e são compostos por clastos de quartzo e quartzito, com a fracção argilosa essencialmente constituída por caulinite e com ilite e vermiculite vestigial. Foram estes sedimentos que forma reconhecidos e estudados, em Casal dos Braçais, como depósitos de caulino.

Os depósitos Plio-Quaternários estão representados um pouco por todo o território embora de uma forma heterogénea. O Pliocénico apresenta essencialmente bandas estreitas ao longo da costa (Antunes e Pais, 1992).

Na Figura 32 apresentam-se os aspectos geodinâmicos e paleogeográficos da placa ibérica durante o Plio-Quaternário.

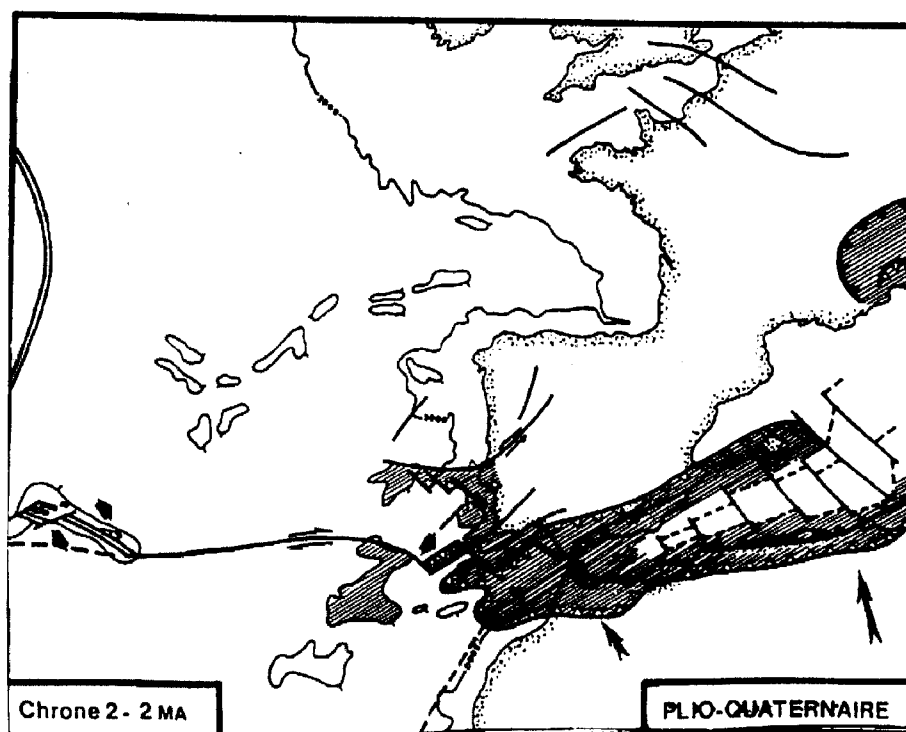


Figura 32 – Placa Ibérica durante Plio-Quaternário. Aspectos geodinâmicos e paleogeográficos (Oliveira e Dias, 1998).

**Tabela 10 – Síntese tectonoestratigráfico da região da Estremadura**

Cenozóico	Holocénico					
	Pleistocénico					
	Pliocénico	Sedimentos arenosos (diatomitos e lignitos)				
	Miocénico	Transgressão				
	Oligocénico	Regressão (Complexos detriticos com denominações locais)				
	Eocénico					
	Paleocénico					
Mesozóico (Cretácico)	Maastrichiano	Movimentos relacionado com a intrusão de Sintra				
	Campaniano					
	Santoniano					
	Coniaciano					
	Turiano	Transgressão				
	Cenomaniano					
	Albiano	Calcários recifais	grés branco	Grés D'Almargem		Siltes vermelhos a grés esverdeado
	Aptiano	Margas calcárias				
	Barremiano	para			Grés cinza	
	Hauteriviano				Grés Branco	
	Valanginiano			Grés branco seguido de argilas e silts		Grés Branco
	Berriasiano	calcários	Grés feldspático seguido de argilas e silts			
Unidades Estruturais		Sintra Brouco	D'Oihalvo e Abrigada	Cercal	Galiota	Alcanede

Toda a evolução geológica da Península Ibérica durante o Meso-cenozóico foi sintetizada na Tabela 10. As unidades de Galiota e Alcanede servem de base aos depósitos estudados.



2.2 - Neotectónica da região

Estruturalmente, segundo a divisão apresentada na Carta Geológica 1:500.000, a Orla Ocidental é limitada a Norte, pela região de Aveiro, a Sul pela região de Ferreira do Alentejo, a Este pela região de Abrantes, a Oeste pela linha costeira nacional e a Nordeste pela Falha Porto – Tomar.

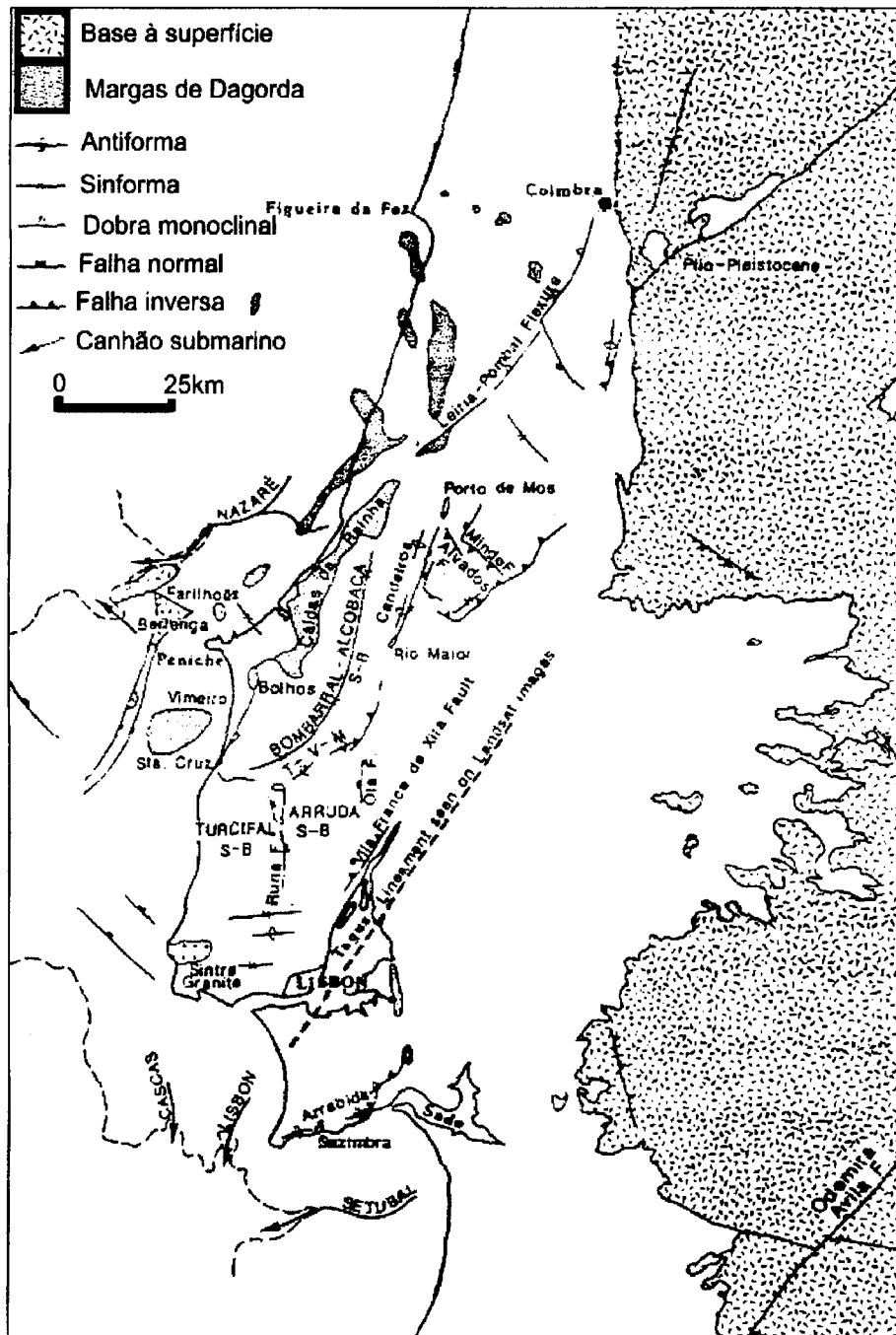


Figura 33 – Enquadramento tectónico-estrutural, adaptado de Wilson et al. (1989).

Os dados existentes sobre a evolução tectónica no território português (Tab. 11 e Figura 34) durante o Mesozóico, Neogénico e Quaternário indicam que após o período Miocénico, caracterizado por actividade tectónica intensa em várias áreas, se seguiu um intervalo de relativa acalmia no Pliocénico. A actividade tectónica acentuou-se novamente no final do Pliocénico, prolongando-se até ao Quaternário (Cabral, 1995). Esta situação concorda com evidências de uma modificação do regime tectónico na região do Arco de Gibraltar durante o final do Pliocénico e início do Quaternário (Fig. 35). No Pliocénico superior decorreu uma compressão orientada NW-SE a NNW-SSE e durante o Quaternário inferior, provavelmente devido à aceleração da velocidade de convergência das placas africana e eurasiática ou mesmo a um bloqueio dessa mesma convergência (Wilson et al. 1989).

**Tabela 11 – Síntese da evolução tectónica da Península-Ibérica durante os últimos 230 Ma.**

Idade (Ma)	Era	Perfil	Movimentos de placas	Tectonogénese	Clima
	Quaternário	11	Remobilização intraplacas por colisão da África e da Península Ibérica	Remobilização de diapiros e acidentes profundos	Alternância de períodos frios e temperados
					Árido
2	Pliocénico		Abertura do estreito de Gibraltar		Subtropical quente com alternâncias de períodos húmidos e secos
5	Miocénico		Isolamento e seca do Mediterrâneo	Rejogo	
			Subducção entre a Península Ibérica e a África a Oeste	Cavalgamentos induzidos por estruturas tardi-hercínicas	Subtropical
		10	Abertura das bacia marginais do Mediterrâneo	Diferenciação de Grabens	
25	Oligocénico	9	Colisão entre a Península Ibérica e a África a Este	Basculamentos e diapirismo	Tropical, com alternâncias de períodos secos e húmidos
40	Eocénico	8	Fim do fecho do Golfo da Gasconha		Seco
			Colisão entre a Europa e a Península Ibérica	Diapirismo	
			Fecho do Golfo da Gasconha		
65	Cretácico	7	Início da reaproximação da África e da Península Ibérica	Granitos e basaltos	Variação entre medianamente quente e medianamente húmido
		6	Separação total entre a Península Ibérica e a América	Acidente da Nazaré	Tropical Húmido
			Reorientação da abertura	Basculamentos	
140	Jurássico	5	Abertura oceânica considerável entre a América e a África e início da abertura entre a Península Ibérica e o bloco Americano-Europeu	Acentuação de um rift	Tropical
		4		Diapirismo	
		3		Início do diapirismo	
				Formação de dois rifts	
195	Triássico	2	Início da abertura entre a América e a África	Vulcanismo dolerítico	Semiarido
230	Pérmico	1	Fecho de um Proto-Atlântico	Últimos granitos tardi-hercínicos. Compressão E-W	Árido

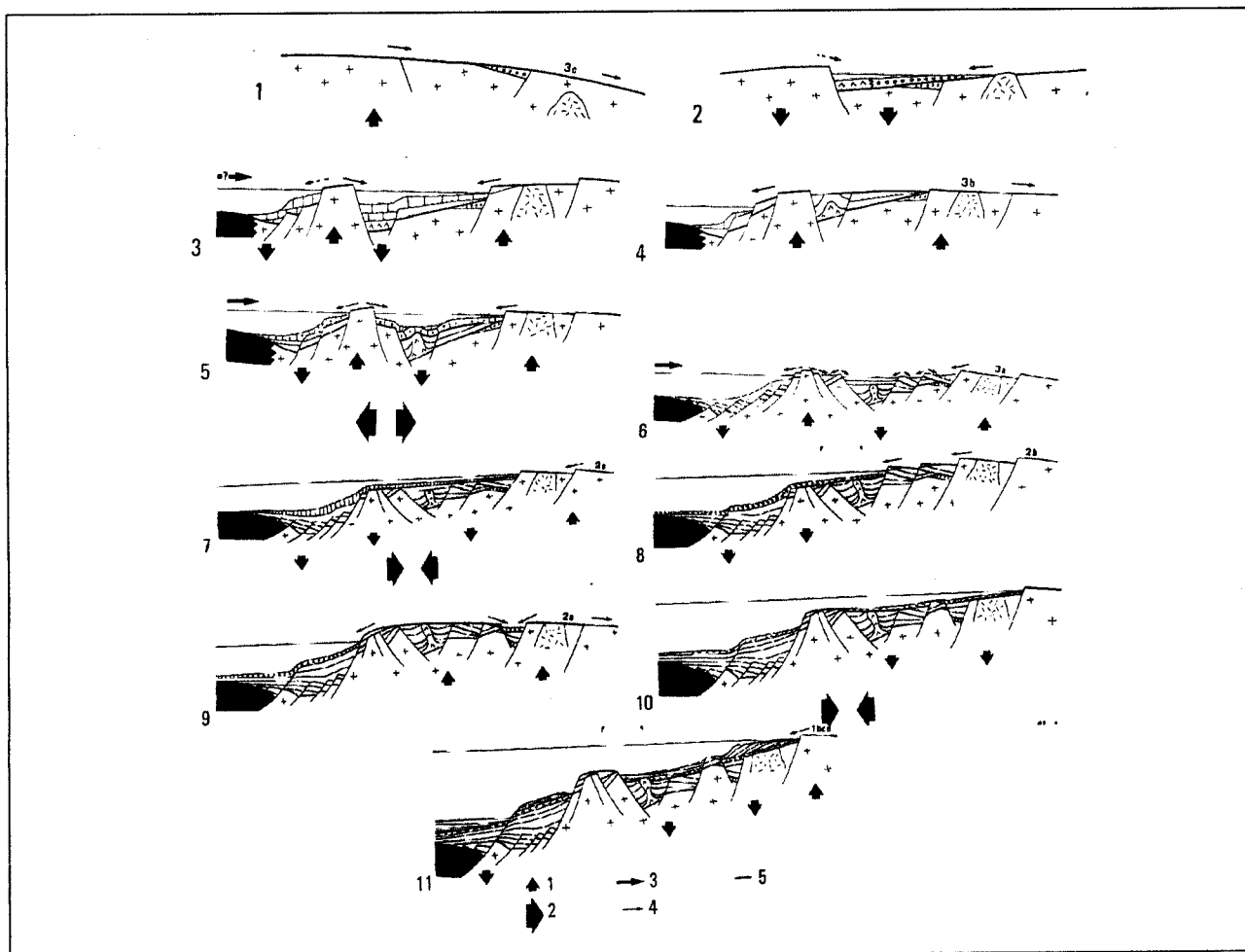


Figura 34 – Perfis esquemáticos da evolução tectónica da região, relacionados na tabela 11. 1 – Movimentos dos blocos; 2 – Direcções de compressão; 3 – Transgressões ou regressões; 4 – Origem dos sedimentos; 5 – Nível do mar. Adaptado (Barbosa et al., 1996).

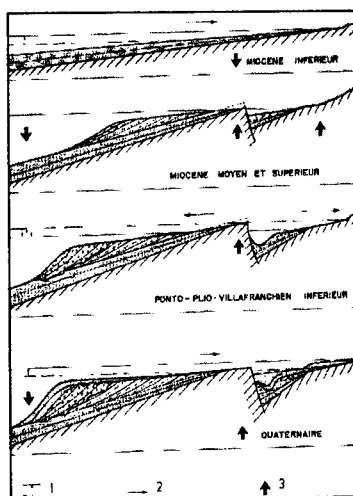


Figura 35 – Evolução da plataforma marinha da Estremadura e representação das fases de sedimentação continental durante o Pliocénico. 1 – Nível tidal; 2 – Transgressões ou regressões; 3 – Movimentos dos blocos. Adaptado (Barbosa et al., 1996).



b) Sector de Peniche: Entre o diapiro de Caldas da Rainha e linha de costeira estende-se um Sector Mesozóico marcado pela ondulação transversa suave. O Cretácico ocorre no núcleo de um dessas ondulações (cuvete de Galiota);

c) A crista de Rio Maior e de Montejunto: O diapiro de Rio Maior a Este e o anticlinal de Montejunto a Sul encontram-se orientados NNE-SSW, é cortados por numerosos acidentes longitudinais, injectados por rochas eruptivas. Junto a Cercal pode-se ainda encontrar um afloramento do Cretácico Inferior;

d) Sector de Alcanede: É encontrado a Este de Rio Maior até Alcanede e encontra-se bordado pelo Terciário da bacia do Tejo. Na parte mais setentrional o Mesozóico apresenta-se entre os acidentes a Este e a Sul, desenhando um anticlinal simétrico, com pendores semelhantes ao flancos do Cretácico Inferior (Sinclinal de Monsanto). A Sul de Alcanede o Cretácico apresenta uma estrutura monoclinal, inclinada suavemente para Este e dispersa sobre os depósitos Terciários (série monoclinal de Gansaria);

e) Sector de Alenquer: Encontra-se a Sul do Sector de Alcanede e limitado a NW pela crista anticlinal de Montejunto e a SW pelos acidentes de Sobral de Monte Agraço, a Este pelo Terciário e Quaternário da Bacia do Tejo. A cobertura Cenozóico não nos permite saber se estes Sectores fazem parte da mesma Unidade Estrutural ou se é uma independente;

f) Bacia de Runa: Na articulação da crista de Montejunto, dos acidentes de Sobral de Monte Agraço e da falha transversa de Torres Vedras - Santa Cruz, imediatamente a Sul do diapiro de Matacães, ocorre a bacia de Runa apresentando-se no eixo de um sinclinal Eocénico. O Cretácico Inferior aflora, de forma descontínua sob os flancos truncados e falhados;

g) Sector de Lisboa: Constituído por várias estruturas e formações identificadas como: sinclinal dissimétrico de Pêro Pinheiro, maciço de Sintra e domo de Brouco e sinclinal de Alcabideche. Estas unidades encontram-se entre o complexo basáltico de Lisboa do Senoniano e os sedimentos Miocénicos da bacia do Tejo;



h) Anticlinal da Serra da Arrábida: A Sul dos sedimentos do Terciário e Quaternário da bacia do Tejo, surge o anticlinal da Arrábida (Jurássico), orientado ENE-WSW (Rey, 1972). O anticlinal apresenta as seguintes estruturas menores: Anticlinal de cabo Espichel, diapiro de Sesimbra, anticlinal Formosinho e anticlinal São Luís. Os dois últimos são interrompidos entre Setúbal e Palmela por um conjunto de falhas transversas que pode ser interpretadas como responsáveis pelo deslocamento para Sul das estruturas de Sobral de Monte Agraço e de Alverca.

A estreita banda do Miocénico, que ocorre na bordadura destas estruturas, desaparece por baixo dos sedimentos Pliocénicos. O Cretácico Inferior que aflora, principalmente no flanco Norte do anticlinal do Cabo Espichel e Formosinho é cortado pelo Terciário e seguidamente reaparece junto a Sesimbra. Em quase toda a extensão, do limite Oeste desta zona estrutural as litologias Hercínicas contribuíram com material para os sedimentos destas zonas. Do soco Hercínico houve uma contribuição de uma gama variada de rochas, desde granitos, gnaisses, xistos, grauvaques, quartzitos e outros tipos de rochas sedimentares e ígneas básicas, para o material sedimentar erodido, transportado, reciclado e depositado na região da Estremadura.

2.3 - Geologia Local

Os sedimentos Pliocénicos e Quaternários que se encontram nesta na região desde a estrutura diapírica das Caldas da Rainha até Leiria, surgem sobre estruturas do Mesozóico. E resultaram de um regime transgressivo, depositando conglomerados fossilíferos e areias. Estes sedimentos são cobertos por diatomitos continentais e lenhites, e por depósitos fluviomarinhos sem fósseis, relacionados com o Pliocénico Superior. Posteriormente uma nova e mais importante transgressão inundou a região e marcou-a com uma aplanção provocada em parte por erosão e deixando, após a regressão final, o registo de arribas fósseis (Antunes e Pais, 1992). Deste modo, os depósitos estudados de Casal dos Braçais e de Mosteiros representam a cobertura Cenozóica das bacias de Peniche (cuvete de Galiota) e Alcanede.

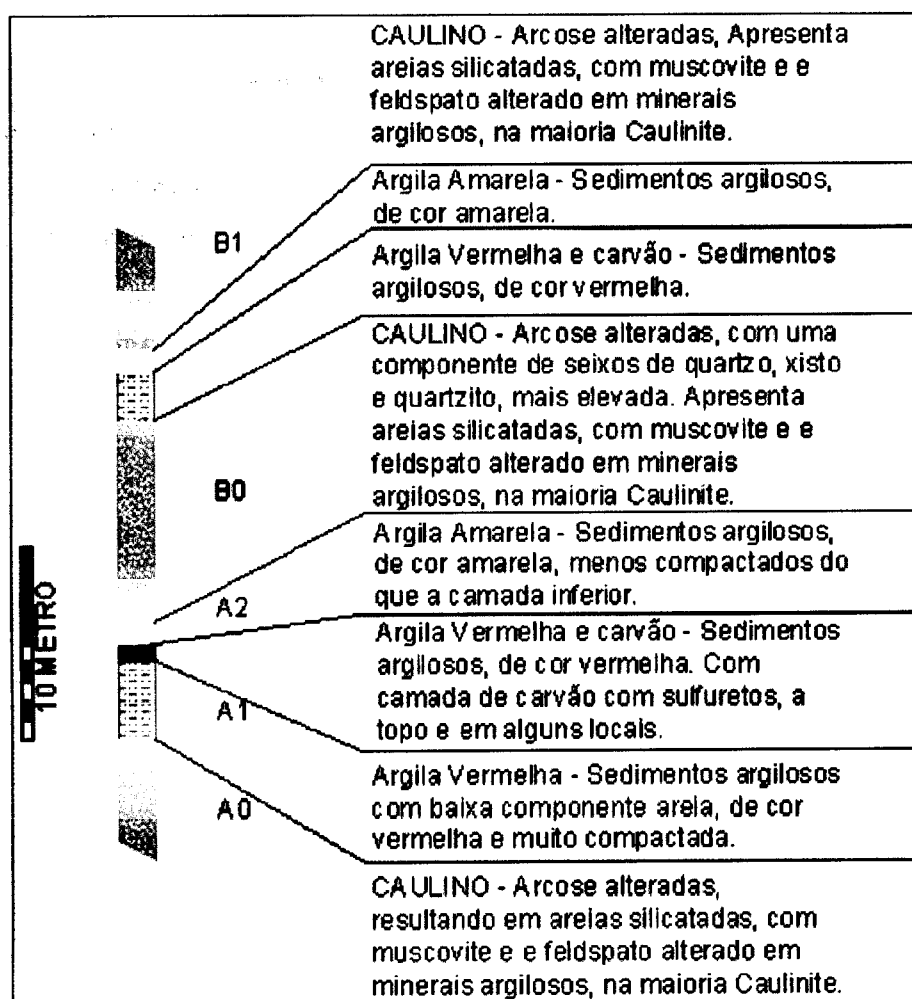


Figura 37 – Coluna litológica dos depósitos sedimentares que afloram em Casal dos Braçais

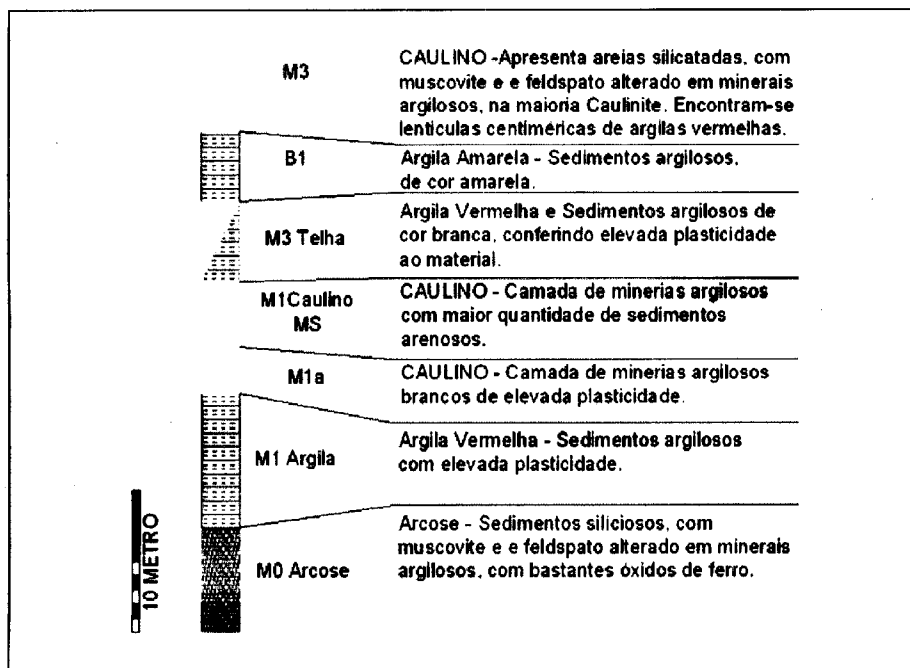


Figura 38 – Coluna litológica dos depósitos sedimentares que afloram em Mosteiros

As Figuras 37 e 38 apresentam, para cada depósito estudado, uma coluna litológica dos sedimentos que afloram em cada zona. As amostras representativas seleccionadas de cada camada e analisadas mineralógica e quimicamente, encontram-se também enquadradas nas mesmas figuras.

2.3.1 - Geologia da zona de Casal dos Braçais

a) Estratigrafia do Sector de Peniche (Cuvete de Galiota)

Neste sector, especialmente na cuvete de Galiota, a passagem do Jurássico é marcada por argilas vermelhas com nódulos de calcários e intercalações de grés fino branco ou grés grosseiro do Kimmeridgiano superior (possivelmente Portlandiano) passando a grés branco do Valanginiano. A fase de sedimentação detrítica correspondente ao Berriasiano, o que não está identificada neste sector. Durante o Valanginiano, os sedimentos grossos variam apresentando uma série desde grés grosseiro claro mal classificado a grés branco com lenticulas lenhitas descontínuas. De notar que a zona Sul se encontra desprovida do termos superior transgressivo e que estas litologias podem ser comparadas, petrográficamente (matriz argilosa branca e ausência de feldspato bem conservado), com as litologias do Hauteriviano, mas a datação por microflora aponta para o Valanginiano. Na passagem do Hauteriviano para o Barremiano Inferior podem-se identificar dois níveis, um mais argiloso e outro siltoso. A composição mineralógica de argila sugere uma sedimentação profunda em águas calmas. O nível imediatamente acima é bastante mais grosseiro, composto por grés lenticular, de cor tipicamente cinza, rico em feldspato pouco alterado, intercalado com argilas coloridas de idade Barremiano. O nível estratigráfico é associado a descargas fluviais, sendo localizado no centro da bacia (Rey, 1972).

Sobre estas rochas foram depositados sedimentos Pliocénicos do tipo areias cauliniticas ou mesmo caulinos.



b) Geologia de Casal dos Braçais

Na zona de Casal do Braçais ocorre uma série sedimentar constituída por depósitos pertencentes ao fim do Pliocénico e início do Quaternário. A camada, visível, mais profunda de areias caulíníferas é seguida de uma camada de argilas vermelhas onde na parte superior se encontram sedimentos de cor amarela. Na zona norte ocorre uma camada de carvões (Pliocénicos) cuja espessura é de 20 a 30 cm. Seguidamente passa-se a um novo ritmo de sedimentação de areias caulíníferas com uma percentagem maior de seixos de grandes dimensões cuja espessura é de aproximadamente 8 metros. Na parte mais superior encontramos níveis pequenos de argila avermelhada, dentro de uma camada de areias caulíníferas, com bastantes seixos de grandes dimensões (Foto. 14 e Figura 39).



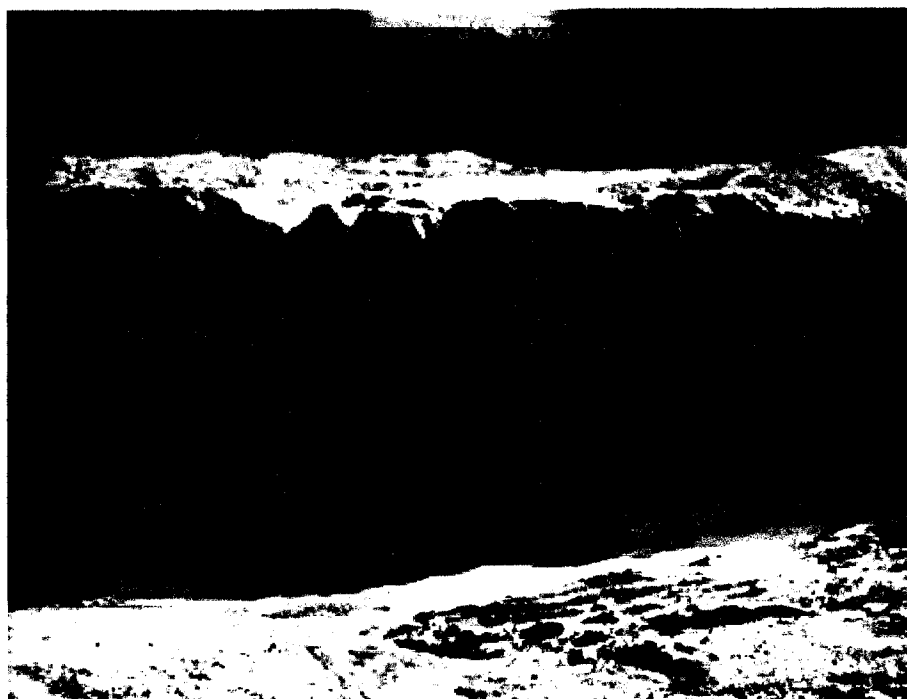
Fotografia 14 – Camada com alternâncias de areias e argilas (Casal dos Braçais).

Da observação directa, pode-se concluir que:

As camadas de areias caulíníferas apresentam estruturas de um meio dinâmico de deposição, como estratificações cruzadas e alternâncias granulométricas variadas (Foto. 15).



Figura 39 – Níveis estratigráficos com areias cauliniticas que afloram em Casal dos Braçais.



Fotografia 15 – Estratificação cruzada nas camadas de areias cauliniticas (no topo do depósito).

As camadas de argila apresentam-se na base de cor vermelha e a topo de cor amarela, estas camadas apresentam também sedimentos arenosos. Nestas camadas encontram-se pequenas camadas de argilas cinzentas e também carvões Pliocénicos (Foto. 16 e 17).



Fotografia 16 – Camada de carvão



Fotografia 17 – Intercalações dos níveis de carvão entre os níveis de argilas ferrolíticas.



Tecnologicamente o material que é explorado é definido como uma areia com teor variável médio de caulino de 7%, constituída essencialmente por areia silícea caulínica. Após um trabalho preliminar que conduziu à realização de uma campanha de 10 sondagens, numa malha de 200 metros, definiram-se numa área com cerca de 18 hectares, cerca de 2.000.000 toneladas de reservas de caulino, repartidas em duas camadas irregulares, em espessura e em teor de caulino, encontrando-se separadas por um nível de argilas vermelhas e amarelas, inclinando para Norte cerca de 10°.

2.3.2 - Geologia da zona de Mosteiros

a) Estratigrafia do Sector de Alcanede

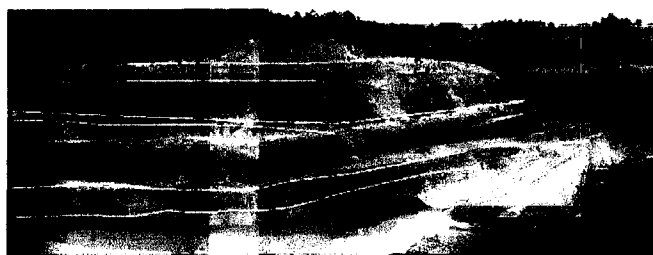
A passagem do Jurássico ao Cretácico, é marcada pela presença de calcários Oxfordianos ou argilas vermelhas e grés do Kimmeridgiano superior e possivelmente Portlandiano, directamente para os, grés brancos do Valanginiano. Os 10 a 15 metros de grés branco (Valanginiano) com estratificação entrecruzada, matriz argilosa, seixos de quartzo e quartzito, encontram-se sob siltes brancos a azulados e com ritmos limoníticos. As litologias do Hauteriviano, comparadas com as do Barremiano, resultam em diferenças de granulometria, em que as mais antigas são tipicamente argilosas e as mais recentes gressosas. As primeiras sugerem, uma sedimentação calma e profunda, seguida de descargas fluviais. Durante o Barremiano e Aptiano, os materiais que sedimentaram eram gradualmente mais grosseiros, mal calibrados, de materiais mais variados e menos seleccionados, formando lentículas variadas de matérias de todos os tipos desde quartzo, rochas metamórficas, micas, argilas de cores variadas e com sequências positivas, passando a topo ao calcário do Cenomaniano (Rey, 1972). Sobre estas rochas foram depositadas sedimentos de areias caulínicas de idade Pliocénico e Quaternários.



b) Geologia de Mosteiros

Os depósitos de caulino estão situados no sector de Alcanede orientado NE-SW e seccionada a Norte e a Sul por dois acidentes N120°, um na proximidade da vila de Alcanede e outro a Este de Rio Maior. As duas principais direcções de acidentes, N20° e N120°, são directamente resultantes da reelevação de toda a margem Noroeste do maciço de Porto de Mós com a formação do anticlinal diápirico de Batalha – Porto de Mós – Rio Maior e da consecutiva descida da berma Sudeste do maciço. Durante o Cretácico e Oligocénico esta bacia foi preenchida por formações fluvio continentais. Nos vales, os níveis de areias caulínicas apresentam inclinações 10 a 15° para Sudeste e apresentam-se recobertas por aluviões recentes de espessura e extensão reduzida.

No caso de Mosteiros, podemos encontrar na parte inferior uma camada de arcose que passa a uma camada de argila vermelha. Seguidamente encontra-se uma camada de areias caulíniferas com boas características plásticas em que na parte superior deste nível, encontramos uma camada de argilas vermelhas com propriedades suficientes para a produção de telha. Na parte superior, encontra-se um novo nível de areias caulíniferas limitadas superiormente por uma fina camada de argilas vermelhas e uma nova camada de areias caulíniferas (Figura.40).



Pliocénico
Areias caulíniferas intercaladas com
bancadas de argilas vermelhas e amarelas

Cretácico
Grés de cor clara e camada de óxidos de ferro

Figura 40 – Os níveis de areias caulíniferas e argilas vermelhas do depósito de Mosteiros.

Observando as litologias concluímos que:

A camada de arcose é constituída por areias feldspáticas, fortemente alteradas numa matriz caulínica de cor branca. Esta camada é a inferior, base das litologias exploradas neste jazigo.

As camadas de areias caulíníticas apresentam uma cor branca e uma boa plasticidade. Fragmentos de rochas ou seixos, com algum rolamento de dimensão 20-50 mm de origens alóctone, encontram-se dentro destes níveis.

As amostras recolhidas mostram uma sedimentação hidrodinâmica com numerosas intercalações de seixos e estratificações entrecruzadas, a camada inferior testemunha chegadas mais brutais de sedimentos no leito do rio ou na planície de inundação. Os períodos de calma são marcados por um depósito de argilas finas cinzentas a vermelhas, dependendo das condições de drenagem e de oxidação do meio de sedimentação. Da prospecção, nomeadamente das sondagens verifica-se que há uma nítida variação de espessura das areias brancas que se adelgaçam e intercalam com argilas de Noroeste para Sudeste.

As camadas de argilas vermelhas são intercaladas entre camadas de areias caulíníticas. Elas apresentam uma baixa quantidade de areias e uma relação entre as argilas presentes que contribui com uma homogeneidade, de cada camada.



Fotografia 18 – Aspecto da arcose e camada de ferrolítica.



A caulinição deve ter decorrido posteriormente ao depósito, através de uma areia feldspática. Localmente nas formações a céu aberto, o caulino pode ter sido recomposto e recristalizado dentro de lentilhas de pequenas dimensões ricas em caulinite. Posteriormente à formação de caulinite, devido à circulação de água, a oxidação do Ferro e a precipitação dos óxidos de ferro, provocaram uma coloração vermelha a amarela, este fenómeno é frequente na camada superior, a camada inferior encontra-se protegida por uma camada de argilas impermeáveis (Foto. 18).

Tecnologicamente o material que é explorado é definido como areia caulínica, com teor médio de 17% de caulino. A fracção $<40\ \mu\text{m}$ é constituída essencialmente por areia siliciosa e por argilas pobres em ferro de cor branca. Após um trabalho preliminar que conduziu à realização de uma campanha de sondagens, definiram-se numa área com cerca de 22 hectares, cerca de 1.000.000 toneladas de reservas de caulino, repartidas em duas camadas irregulares, em espessura e em teor de caulino, encontrando-se separadas por um nível de argilas vermelhas, inclinando para Sudeste.



V - Estudo Geológico dos Depósitos de Caulino

1 - Caracterização Estrutural dos Minerais Argilosos

Num mineral argiloso os elementos químicos mais frequentes (oxigénio, silício, alumínio, ferro, magnésio, potássio e sódio) no seu estado iónico, assemelham-se a esferas que se arranjam em sete modelos estruturais tridimensionais distintos, caracterizados por um desenvolvimento marcadamente bidimensional próprio dos filossilicatos (Bailey, 1996).

Os componentes básicos estruturais dos minerais de argila são: planos atômicos, folhas estruturais, camadas estruturais e unidade estrutural (Fig. 41 e 42).

Planos atômicos – compreendem os átomos que na estrutura do mineral argiloso se dispõem complanarmente.

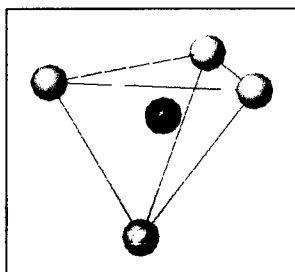


Figura 41 – Tetraedro de sílica (SiO_4)

Folhas estruturais – agrupamento de átomos pertencentes a vários planos atômicos.

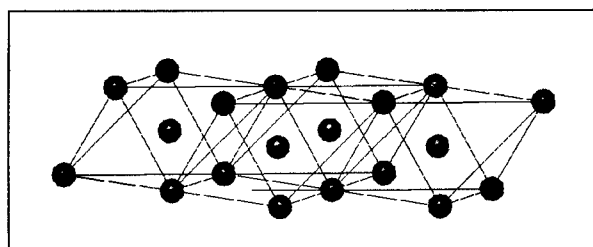


Figura 42 – Folha estrutural de gibsita (Al(OH)_3) e de brucita (Mg(OH)_2)

Camadas estruturais – agrupamento de folhas estruturais, que se unem pelo oxigénios apicais da folha de sílica.



Unidade estrutural – motivo básico que por repetição simétrica origina toda a estrutura. Compreende as camadas estruturais básicas e os espaços intercamadas.

É a unidade estrutural que corresponde a fórmula química unitária e é a organização da unidade estrutural, isto é, o número de folhas estruturais que compõem a unidade estrutural, que determina os três tipos básicos (1:1, 2:1 e 2:1:1) dos minerais argilosos. Por sua vez os grupos estruturais são estabelecidos com base na carga eléctrica existente por fórmula química unitária.

Os subgrupos estruturais baseiam-se na população de catiões da folha octaédrica pertencente à unidade estrutural. Nesta folha, dos três lugares disponíveis, podem estar todos ocupados ou só dois, no primeiro caso dizem-se minerais argilosos trioctaédricos e no segundo casos dizem-se dioctaédricos. Os espaços intercamadas estruturais são ocupados por alguns catiões alcalinos, ou alcalino-terrosos muitas vezes solvatados ou por moléculas de água.



1.1 - Sistemática dos minerais argilosos

As espécies de minerais argilosos diferenciam-se, conjuntamente, pela composição química e pela organização estrutural (Bailey, 1996).

Tabela 12 – Sistemática dos minerais argilosos (Bailey, 1996)

I – Minerais Cristalinos			
A – Estrutura em camadas			
Tipo de camada	Grupo	Subgrupo	Espécies
1:1	Caulinite – Serpentina (x=0)	Dioctaédrico	Mg-Serpentina (antigorite, crisótilo)
			Mg-Al Serpentina (amesite)
			Fe-Serpentina (cronstedite)
		Trioctaédrico	Caulinite, Diquite; Nacrite
			Haloisite (7Å)
			Haloisite (10Å)
2:1	Pirofilite - Talco (x=0)	Dioctaédrico	Talco
		Trioctaédrico	Pirofilite
	Esmectites (0,2<x<0,6)	Trioctaédrico	Saponite
			Hectorite
			Stevensite
		Dioctaédrico	Montmorilonite
			Beidelite
			Nontronite
	Vermiculite (0,6<x<0,9)	Trioctaédrico	Vermiculite
		Dioctaédrico	Vermiculite
	Micas (x=1)	Trioctaédrico	Flogopite
			Biotite
			Lepidolite
		Dioctaédrico	Moscovite
			Paragonite
			Illite
2:1:1	Clorites (x=variável)	Trioctaédrico	Mg-Clorite
			Fe-Clorite
		Di/Trioctaédrico	Al-Clorite (sudoite)
			Al Li-Clorite (cookeite)
B – Estrutura em pseudo-camadas (fitas)			
			Sepiolite
			Paligorskite
II – Minerais não cristalinos ou fracamente cristalinos			
			Alofana
			Imogolite



Na Tabela 12 apresenta-se a sistemática dos minerais de argila segundo Bailey (1996), em conformidade com as recomendações do *Comité de Nomenclature de Association International pour L'étude des Argiles (AIPEA)*.

Os grupos minerais são estabelecidos não só na base do tipo estrutural mas também na ocupação total ou parcial por determinados catiões das posições octaédricas disponíveis por unidade estrutural, como ainda na base de carga eléctrica por unidade estrutural.

Segundo as recomendações AIPEIA (Bailey 1996) o grupo de caulinite e de serpentina é substituído pelo grupo do caulino-serpentina.

1.2 - Grupo do Caulino-Serpentina

O grupo caulino-serpentina (Bailey, 1996) compreende dois grupos, o subgrupo do caulino que reúne espécies dioctaédricas e o subgrupo da serpentina que reúne espécies trioctaédricas. O subgrupo do caulino abrange três politipos ou variedades estruturais: caulinite, dickite e nacrite. Os politipos dickite e nacrite representam modos de empilhamento, como determinada ordem de periodicidade, distintos daquele que se verifica na unidade estrutural básica da caulinite; a caulinite é triclínica, enquanto que as demais espécies do subgrupo são monoclinicas. A espécie hidratada de caulinite é a halloysite-7Å ou halloysite-10Å. Trata-se dum mineral caracterizado por possuir uma camada de moléculas de água entre camadas estruturais adjacentes. A estrutura da halloysite distingue-se da estrutura da caulinite por possuir maior desordem estrutural ao longo do eixo c e também ao longo dos eixos, a e b.

Cada camada estrutural de caulinite (e suas variedades estruturais) é constituída pela associação ou empilhamento de uma folha tetraédrica de sílica e de uma folha octaédrica de composição gibsítica (Fig. 43).

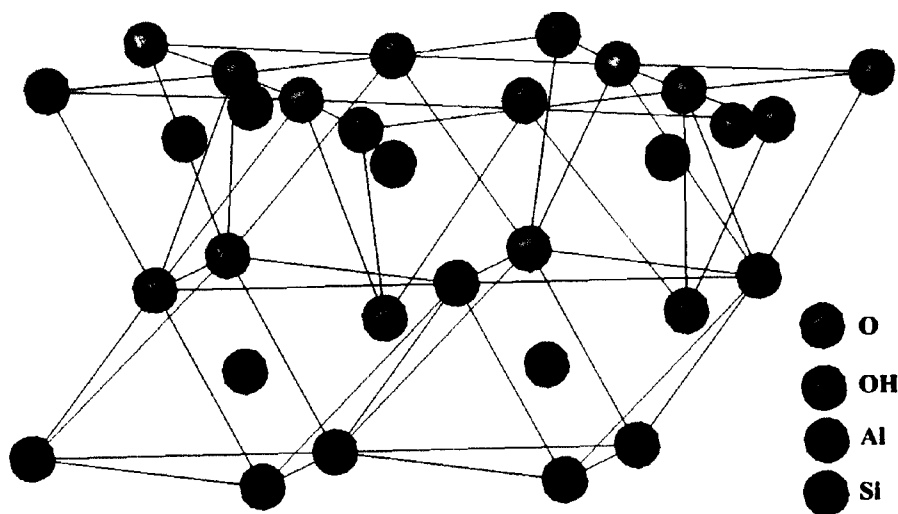


Figura 43 – Estrutura cristalinoquímica da caulinite.



A estrutura cristalina apresenta em regra desvios à ordem ou perfeição, desvios denominados desordem estrutural. Habitualmente, a ordem-desordem estrutural de caulinite vulgarmente denominada cristalinidade é avaliada através de índices numéricos, chamados índices de cristalinidade, dos quais mais comum é o de Hinckley (1963).

A fórmula estrutural correspondente aos minerais do subgrupo caulinite é $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ e à unidade estrutural básica, correspondem as seguintes composições químicas, 4SiO_2 $2\text{Al}_2\text{O}_3$ $4\text{H}_2\text{O}$, sendo a composição química teórica, 39,8% Al_2O_3 , 46,3% SiO_2 , 13.9 H_2O . E em média, num cristal de caulinite entram 40-50 camadas estruturais.



2 - Mineralogia dos depósitos de caulino

2.1 - Estudo Granulométrico

A argila é entre os produtos geológicos o que se caracteriza por possuir granularidade mais fina, uma vez que os seus minerais essenciais, os minerais argilosos, têm em regra, diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) $< 2 \mu\text{m}$. O d.e.e. será o diâmetro de uma esfera que circunscreve a partícula argilosa. O conceito de d.e.e. resulta do facto das partículas individuais dos minerais argilosos possuírem formas anisométricas (Folk, 1966).

Nos sistemas granulares dispersos, o termo argila, tal como outros, silte, areia, seixo, etc., é um conceito com significado puramente granulométrico (Flemming, 2000). A argila compreende as partículas de d.e.e. inferior a $2 \mu\text{m}$ ou $0,002 \text{ mm}$, o silte compreende, para uns autores as partículas cujo d.e.e. se situa entre $2 \mu\text{m}$ e $20 \mu\text{m}$ (isto é, entre $0,002 \text{ mm}$ e $0,02 \text{ mm}$), e para outros autores as partículas cujo d.e.e. se situa entre $2 \mu\text{m}$ e $63 \mu\text{m}$ (isto é, entre $0,002 \text{ mm}$ e $0,063 \text{ mm}$), enquanto que a areia compreende, para uns autores as partículas cujo d.e.e. se situa entre $20 \mu\text{m}$ (isto é, $0,02 \text{ mm}$) e 2 mm , e para outros autores as partículas cujo d.e.e. se situa entre $0,063 \text{ mm}$ e 2 mm .

Na argila, sistema polidisperso natural que possui muitas partículas de dimensão inferior a $2 \mu\text{m}$ mas que pode ter também muitas outras de dimensão superior a este valor, e que é, simultaneamente, produto geológico e matéria prima útil para diversas aplicações, a granularidade é avaliada através da chamada análise granulométrica. Esta avalia a distribuição dimensional do grão, distribuição da qual se retiram parâmetros estatísticos relevantes, que só por si, explicam certas propriedades da argila ou dos corpos fabricados com argila, como é o caso, por exemplo, dos corpos cerâmicos, tais como: viscosidade das suspensões, plasticidade das pastas, permeabilidade, resistência mecânica em verde e em seco e, ainda, retracção dos corpos cerâmicos (Bastenair, 1965).

É certo que, nestas como noutras propriedades, para além da dimensão do grão individual, influi também a forma dos agregados minerais.



Para a análise granulométrica das argilas dispõe-se de várias técnicas, pouco ou muito sofisticadas, morosas ou rápidas: peneiração, sedimentação livre com base na “Lei de Stokes” (Stokes, 1951), hidrociclonagem e centrifugação.

Hoje são ainda muito utilizados granulómetros ou analisadores de partículas com fontes de raios X ou de raios laser os quais permitem efectuar uma análise granulométrica, particularmente para populações de partículas de d.e.e. $<100\ \mu\text{m}$, num espaço de tempo de poucos minutos.

Em regra, a sedimentação livre e a separação por granulómetro de laser ou de raios X são processos utilizados na análise granulométrica em complementaridade da distribuição dimensional do grão que se obtém utilizando uma série de peneiros ASTM com aberturas de dimensão adequada para o efeito (Tab. 13).

Tabela 13 – Distribuição granulométrica das partículas minerais nos produtos de Casal dos Braçais e Mosteiros.

Amostras	Argila	Silte	Areia
M1	36,0	23,9	40,1
M2	37,1	22,1	40,8
M3	38,0	20,6	41,5
M4	37,6	21,2	41,2
M5	35,9	24,0	40,0
C1	38,7	19,3	42,0
C2	38,3	20,0	41,7
C3	38,7	19,3	42,0

De acordo com Pettijohn et al. (1973) os resultados obtidos são projectados num diagrama ternário Argila-Areia-Silte (Fig. 44) no sentido de avaliar o tipo petrográfico cada sedimento não consolidado.

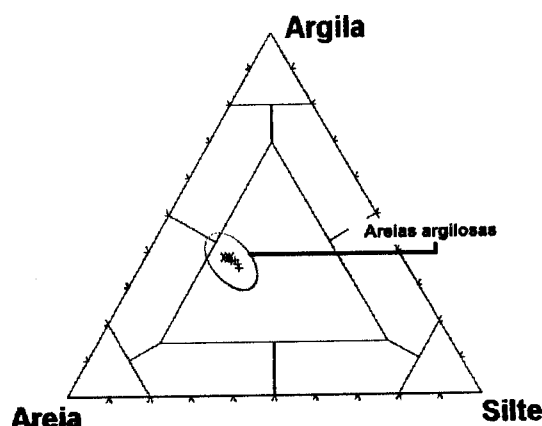


Figura 44 – Projecção dos valores das granulometrias dos produtos de Casal dos Braçais (azul) e Mosteiros (vermelho).

Particularidades texturais do caulino: forma das partículas, factor forma das partículas e distribuição dimensional das partículas

Diversos estudos têm mostrado que muitos caulinos consistem de dois ou mais tipos de caulinite, que exibem muitas vezes partículas de tamanho muito diferente, assim como factor forma muito diferente.

Efectivamente, os caulinos diferem no que respeita à distribuição dimensional (Friedman, 1962) do grão, a qual pode ser unimodal ou polimodal. A Figura 45 mostra estes dois tipos de distribuição, que foram verificados, o primeiro no de Barqueiros (B), Esposende e de Casal dos Braçais (C).

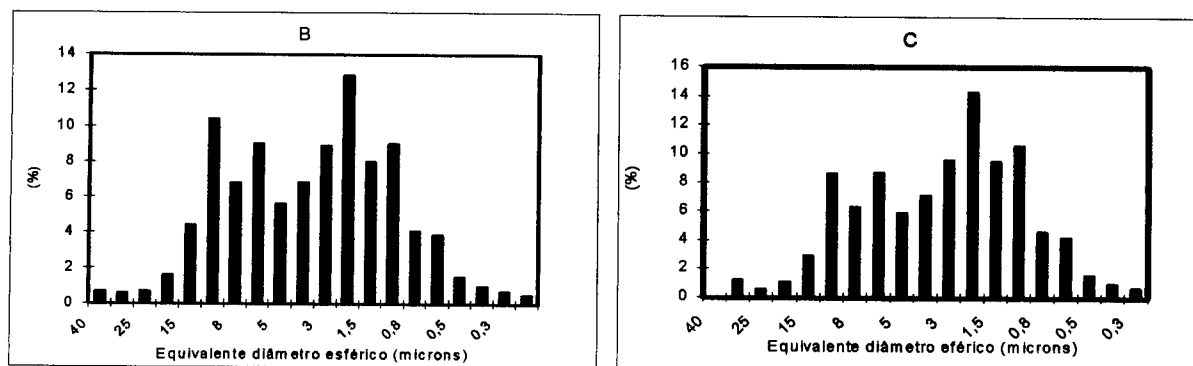


Figura 45 – Exemplos de distribuição dimensional bimodal dos grãos em Barqueiros, Esposende.

As diferenças referidas reflectem, muito provavelmente, modos diversos de formação e evolução. É bem conhecido o facto de muitas vezes no mesmo depósito haver contribuições sobrepostas de dois processos genéticos, por exemplo, alteração hidrotermal e alteração meteórica, ou casos em que no mesmo depósito são encontradas contribuições de dois ou mais eventos de transportes de materiais diferentes (Krumbein, 1936).



2.2 - Estudo Mineralógico

2.2.1 -Análises de difracção de raios X

As amostras escolhidas para a análise mineralógica correspondem as fracções de <45 µm e de <2 µm. A identificação dos minerais argilosos por difracção de raio X (DRX) baseia-se essencialmente nas características distintivas apresentadas pelas planos de reflexões basais do tipo $d(00l)$ ou mesmo pelos $d(hkl)$. Os agregados minerais das fracções de <45 µm e de <2 µm eram preparados não- orientados, no sentido de ser identificados os planos reticulares de tipo $d(hkl)$. Na Figura 46 observa-se que os minerais presentes nas fracções de <45 µm são: caulinite, quartzo e mica. Nos espectros de raio X, o caulinite evidencia-se por os máximos planos de reflexão característicos a 7,13 Å ($d(001)$) e 3,57 Å ($d(002)$).

Os planos de reflexão $d(hkl)$ calculadas para a caulinite sedimentar de Casal dos Braçais, foram comparados na Tabela 14 com os de caulinite de Scalby (Inglaterra). Os reflexos das 10 Å e 5 Å correspondem a mica, enquanto das 3,34 Å e 4,24 Å a quartzo.

Tabela 14 – Dados comparativos de análises de difracção de Raios X de caulinite de Casal dos Braçais (Portugal) e de Scalby (Yorkshire Inglaterra)* (JCPDS-ICDD; card nº: 14 – 164).

$d(\text{Å})^*$	I	$d(\text{Å})$	I	$d(hkl)$
7.170	100	7.215	100	001
4.478	35	4.471	27	020
4.366	60	4.371	30	110
4.186	45	4.186	26	110
3.847	40	3.858	14	021
3.745	25	3.746	11	021
3.579	80	3.582	96	002
3.376	35	3.371	10	111
2.566	35	2.564	18	201
2.535	35	2.535	12	131
2.495	45	2.498	19	200
2.385	25	2.388	11	003
2.347	40	2.3442	25	202
2.293	35	2.294	14	131
1.997	35	1.996	8	203
1.952	20	1.948	4	221
1.845	25	1.842	3	133
1.789	25	1.789	5	004
1.669	40	1.665	12	240
1.489	90b	1.489	14	331



A composição mineralógica percentual das amostras analisadas está apresentada na Tabela 15 e projectada num diagrama triangular na figura 46. Como é possível de observar o caulinite é representado pelo mais de 85% nas fracções de <45 μm (Folk, 1954).

Tabela 15 – Composição mineralógica percentual das fracções <45 μm .

	Caulinite	Muscovite	Quartzo	
M1	82	8	8	+
M2	82	8	8	×
M3	81	8	9	Δ
M4	82	8	8	Δ
M5	82	8	8	☆
C1	81	6	11	+
C2	74	5	19	×
C3	81	6	11	▲

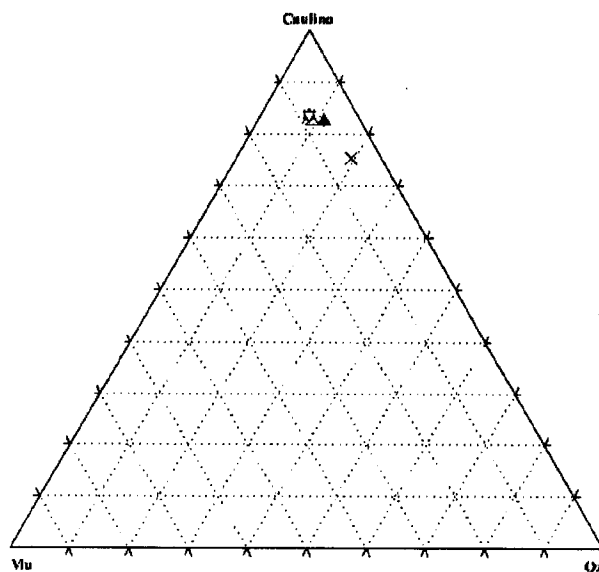


Figura 46 – Representação da relação caulinite-muscovite-quartzo dos dados da Tabela 16.

A cristalinidade da caulinite (o índice de Hinckley), exprimindo certa especificidade relativamente a determinado tipo de defeitos estruturais é avaliada através do espectro de raio X (Fig. 47) obtido para as fracções granulométricas de $<2 \mu\text{m}$.

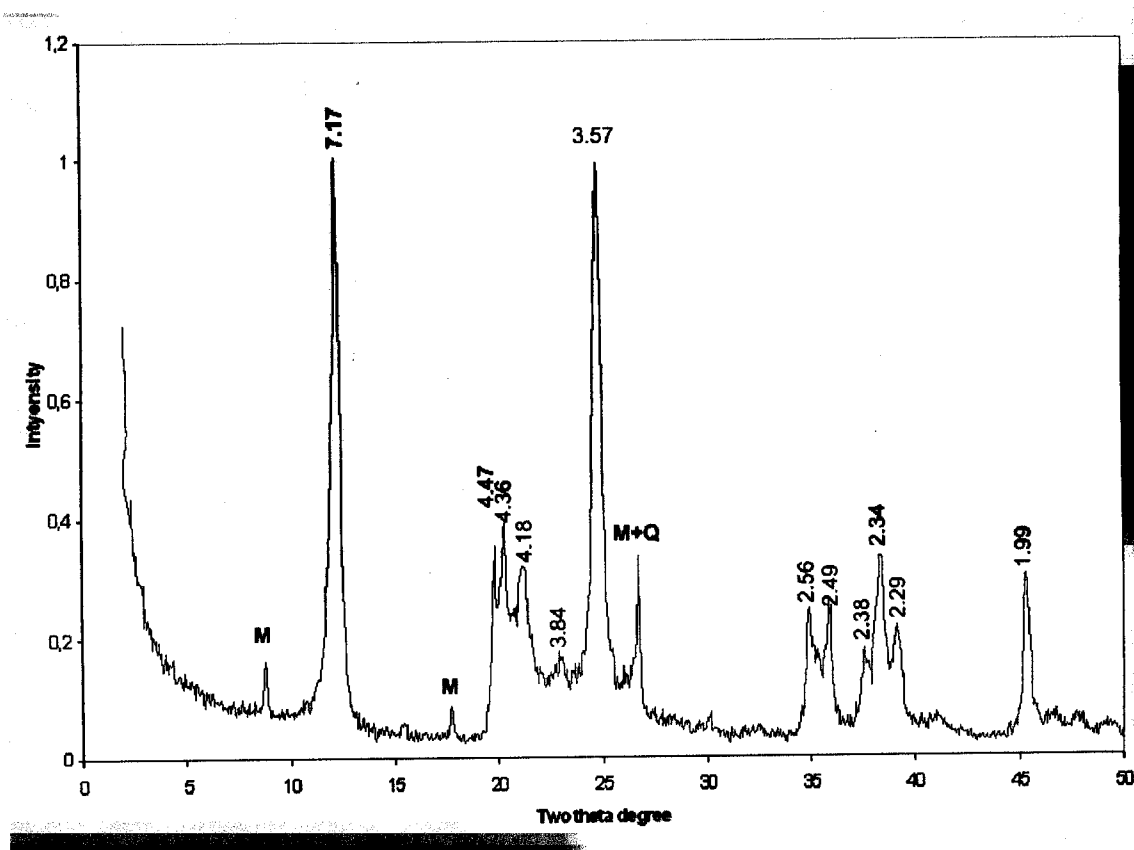


Figura 47 – Espectro de DRX das fracções $<2 \mu\text{m}$ do caulino de Casal dos Braçais.

O índice de cristalinidade de Hinckley (1963)

"Reflecte a ordem-desordem estrutural global nas caulinites. Na sua expressão participam as intensidades de máximos de difracção correspondentes a famílias de planos reticulares de tipo $d(hkl)$. Quanto ao índice de cristalinidade de Hinckley, as caulinites podem classificar-se do modo seguinte: caulinites com cristalinidade elevada ($HI > 1$); caulinites com cristalinidade boa ($0,75 < HI > 1$); caulinites com cristalinidade média ($0,50 < HI > 0,75$); caulinites com cristalinidade fraca ($0,25 < HI > 0,5$). A representação esquemática da determinação do índice de cristalinidade de Hinckley está ilustrada na Figura 48."

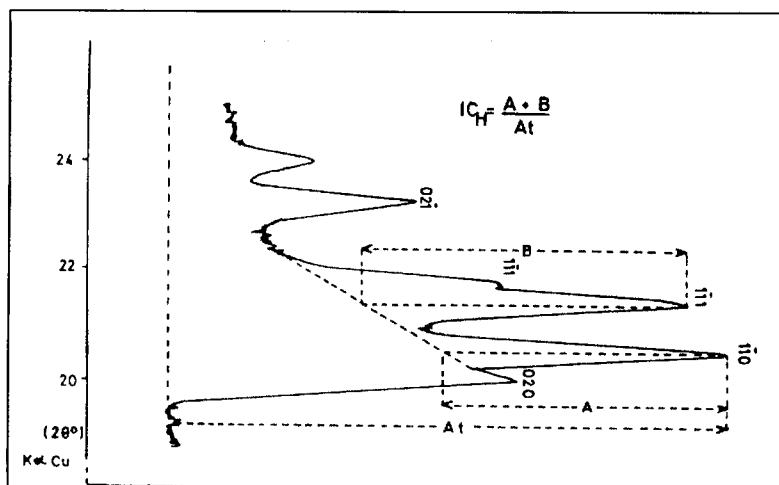


Figura 48 – Esquema da determinação do índice de cristalinidade de Hinckley.

Na Tabela 16 podemos encontrar os valores dos índices de Hinckley determinados para as caulinites de Casal dos Braçais e Mosteiros, com valores ligeiramente mais elevados para as primeiras (A0 e A1) do que para as segundas (M0 e M1).

Tabela 16 – Índice de cristalinidade da caulinite de Casal dos Braçais e de Mosteiros.

Depósito	Casal dos Braçais		Mosteiros	
Nº amostra	A0	A1	M0	M1a
HI	0.86	0.92	0.82	0.78

2.2.1.1 Depósito de caulino de Casal dos Braçais. Resultados de DRX.

As amostras recolhidas para análises químicas foram analisadas do ponto de vista mineralógico por difracção de raios X (Tucker, 1988 e Skinner, 2000). A composição mineralógica é essencialmente caulinite, moscovite, quartzo e goethite. Na maioria das amostras (Fig. 49) a caulinite é predominante na ordem de 80% (A0, A1 e A2), foram encontradas amostras onde o quartzo é o mineral dominante (B1).

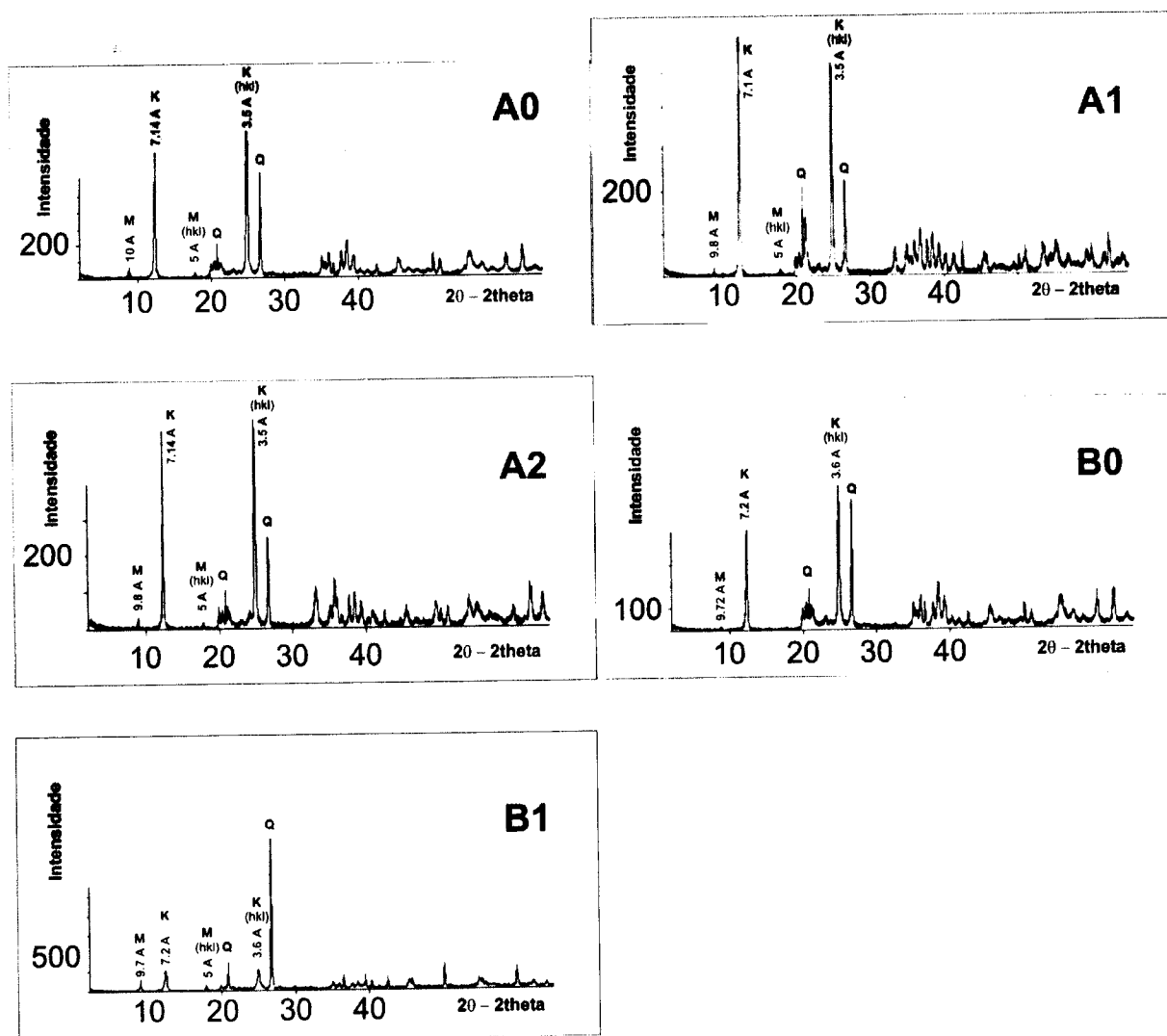


Figura 49 – Espectros de DRX das fracções <45 µm dos caulinos de Casal dos Braçais



2.2.1.2 Depósito de caulino de Mosteiros. Resultados de DRX.

As amostras recolhidas para análises químicas foram analisadas do ponto de vista mineralógico por difração de raios X. A composição mineralógica é essencialmente caulinite dominante, micas, quartzo e goethite, desta vez os teores normativos em caulinite chegam a cerca de 70%, apresentando menos do que o caso de Casal dos Braçais, a maioria das amostras tem mais quartzo do que minerais argilosos (Fig. 50).

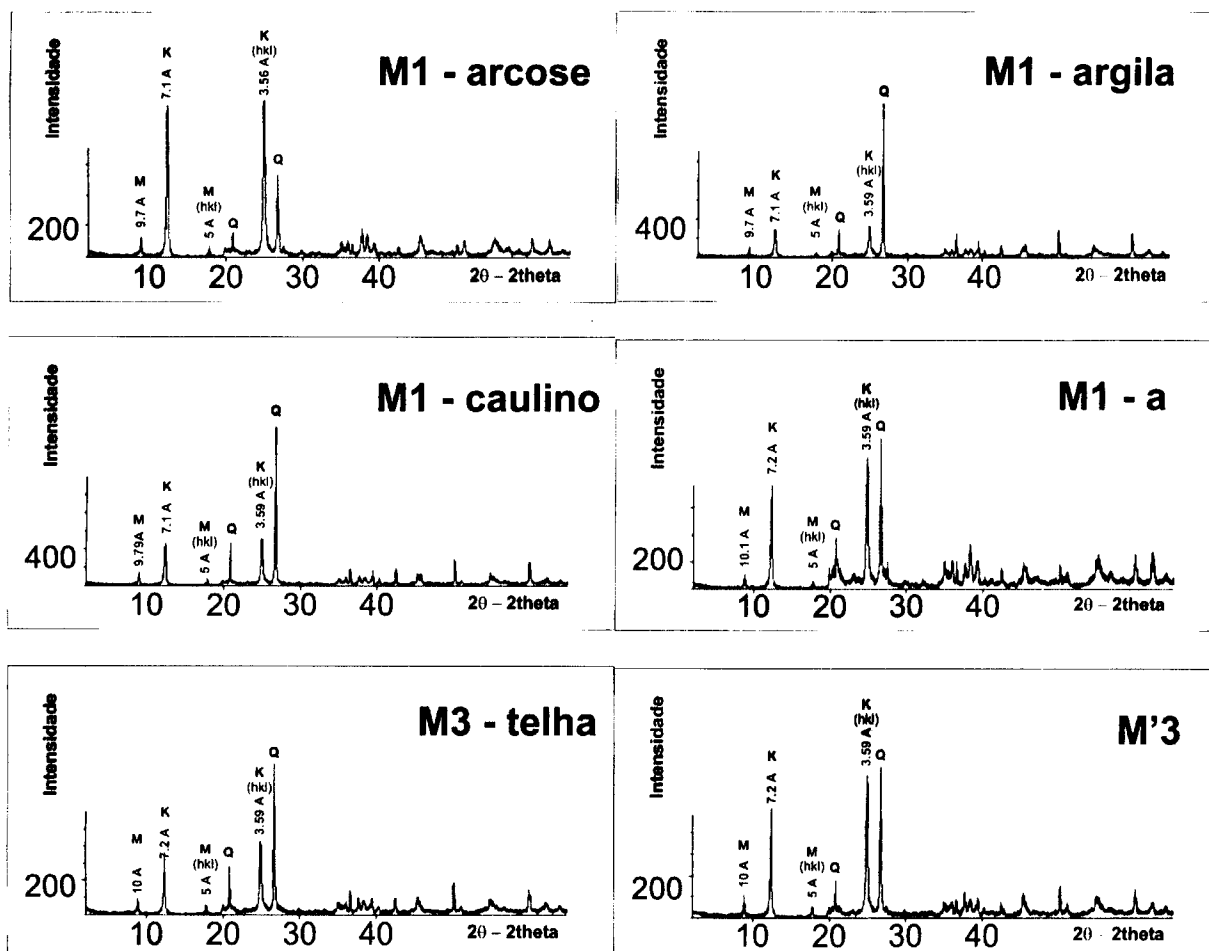


Figura 50 – Espectros de DRX das fracções <45 µm do caulino de Mosteiros.

Encontramos também uma camada “*in-situ*” de arcose, caulinizada. Através dos dados mineralógicos obtidos pela amostra de arcose podemos concluir que o aumento da quantidade de quartzo encontrado nas outras amostras está relacionado com um transporte de um material alóctone.



2.2.2 -Análises de microscópio electrónico de varrimento

O estudo no MEV – microscópio electrónico de varrimento (Tucker, 1988) foi realizado para as amostras de caulino de Casal dos Braçais. A morfologia observada nos agregados de caulino apresenta uma variedade bastante diversificada em termos de forma e de tamanho. Encontram-se agregados de caulinite constituídos por lamelas simples pseudo-hexagonais ou irregulares com diâmetros e espessuras de dimensão mais ou menos uniforme. Também são evidenciados empilhamentos das lamelas, denominadas “livros” de caulinite. Na Figura 51 são apresentadas as morfologias de agregados de caulinite observados com o MEV.

2.2.2.1 Micro análise química por raios X (EDS/EDAX)

Nalgumas amostras de caulino foram encontradas fases minerais cujas composições químicas têm valores elevados em SiO_2 ou, pelo contrário, valores elevados em Al_2O_3 .

Algumas partículas minerais foram analisadas qualitativamente e quantitativamente recorrendo ao EDS incorporado no MEV (Maliszewska et al., 2002)

Nas Figuras 52, 53 e 54 apresentam-se partículas de habito esférico e cúbico. A composição química das partículas esféricas é mais rica em Al_2O_3 embora em alguns casos ocorram também com valores altos de SiO_2 , típicos nesta amostra para as partículas de forma cúbica.

Na Figura 54 e 55 podem ver-se também cristais de caulinite delaminados, representado pelo afastamento assimétrico entre as folhas da estrutura.

Na Figura 56 reconhece-se ainda a presença de feldspato pela composição química que ainda apresenta valores de sódio e potássio altos.

Na Figura 57 encontra-se uma região caracterizada por uma fase de dissolução de feldspato onde a morfologia é menos definida. Já se conhecem casos em Portugal onde se reconhecem processos de dissolução de feldspato no caso de São Vicente Pereira (Bobos et al. 2000).

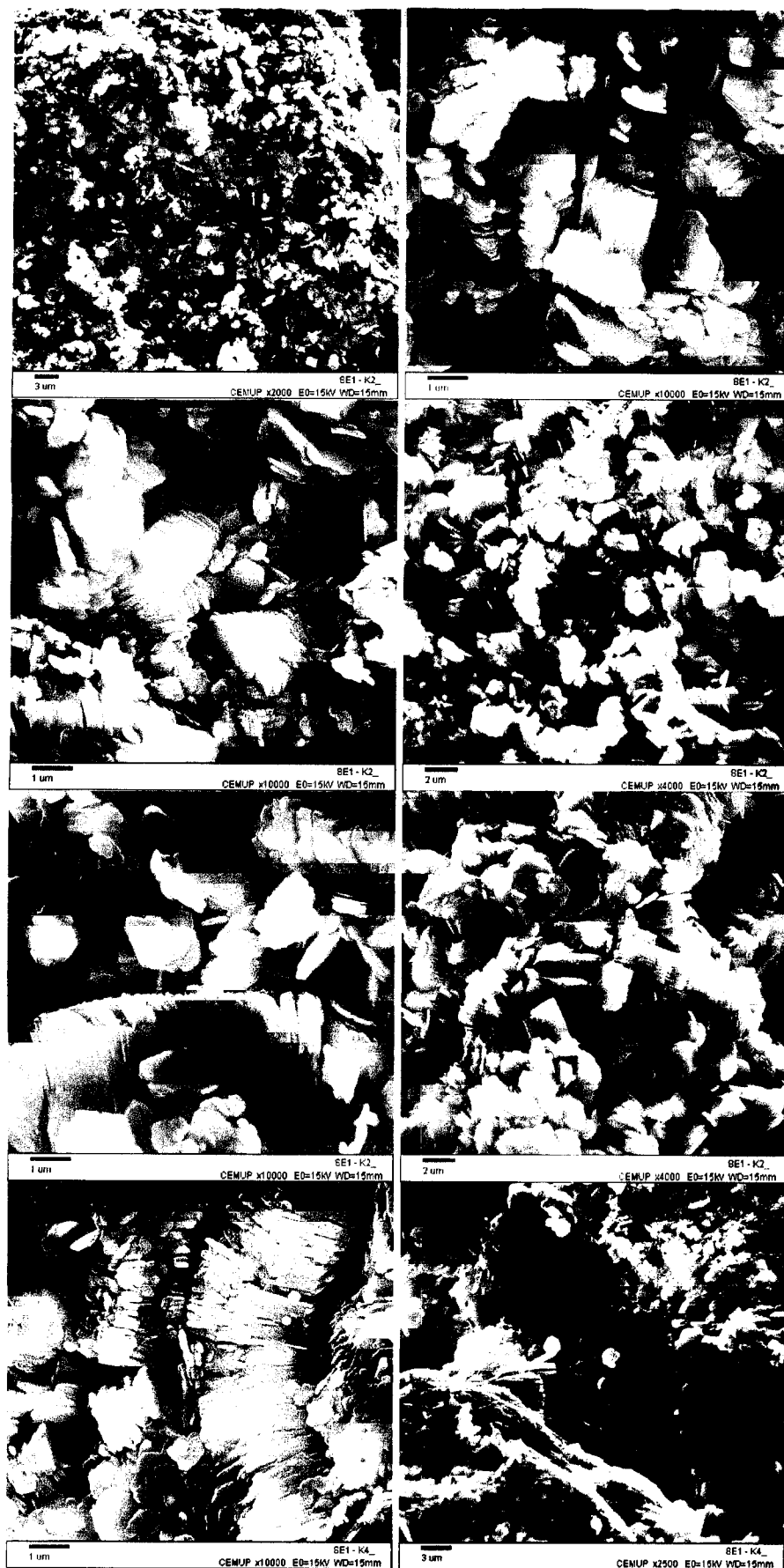


Figura 51 – Agregados de caulinite observados no MEV

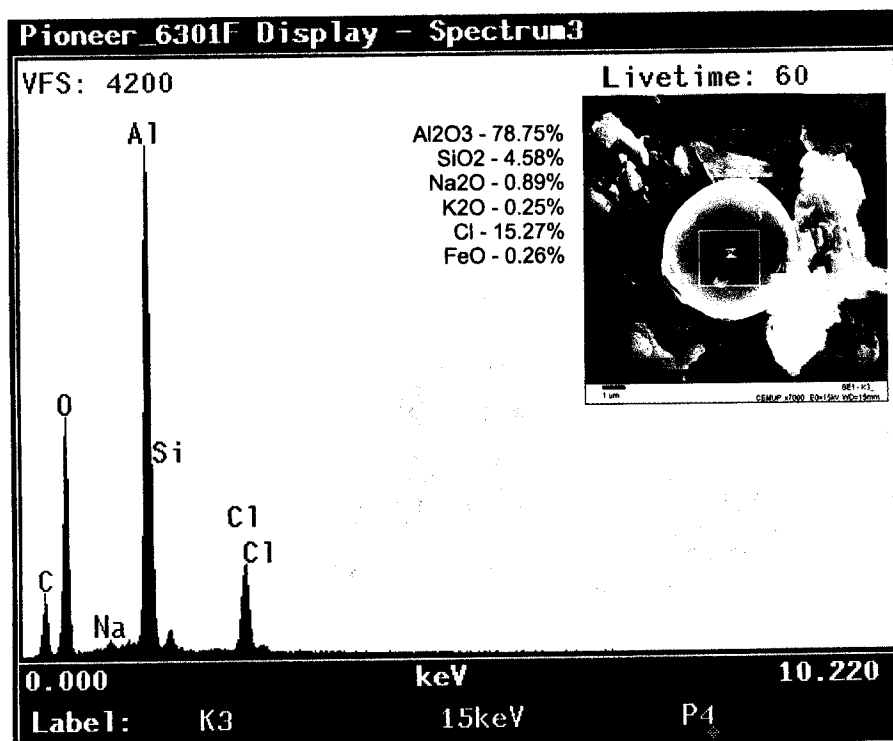


Figura 52 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma esférica e composta essencialmente por alumínio.

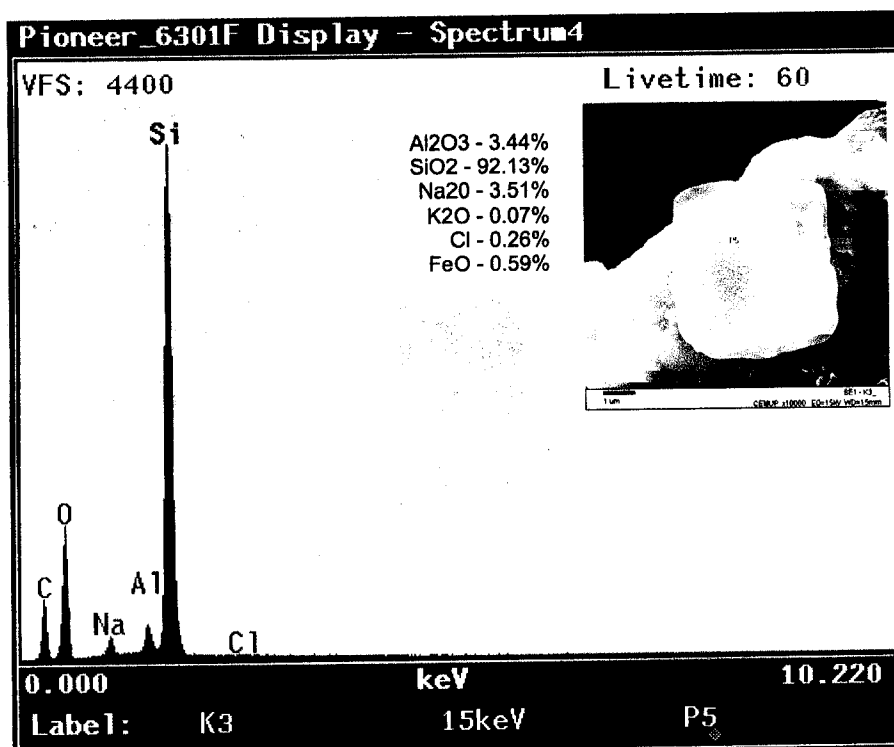


Figura 53 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma cúbica e composta essencialmente por sílica.

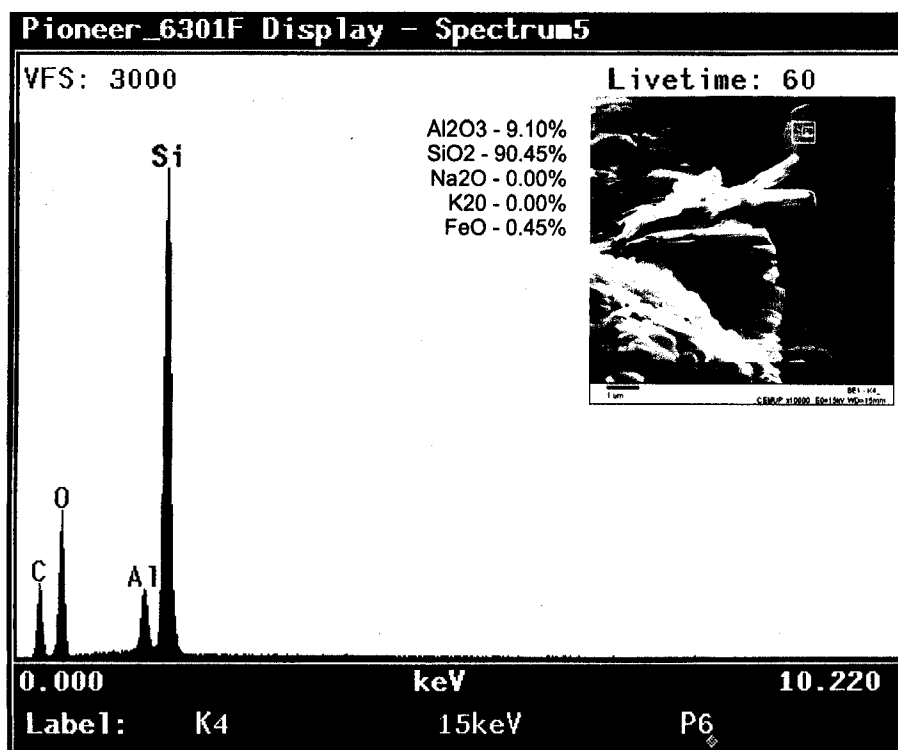


Figura 54 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa partícula de forma esférica e composta essencialmente por sílica.

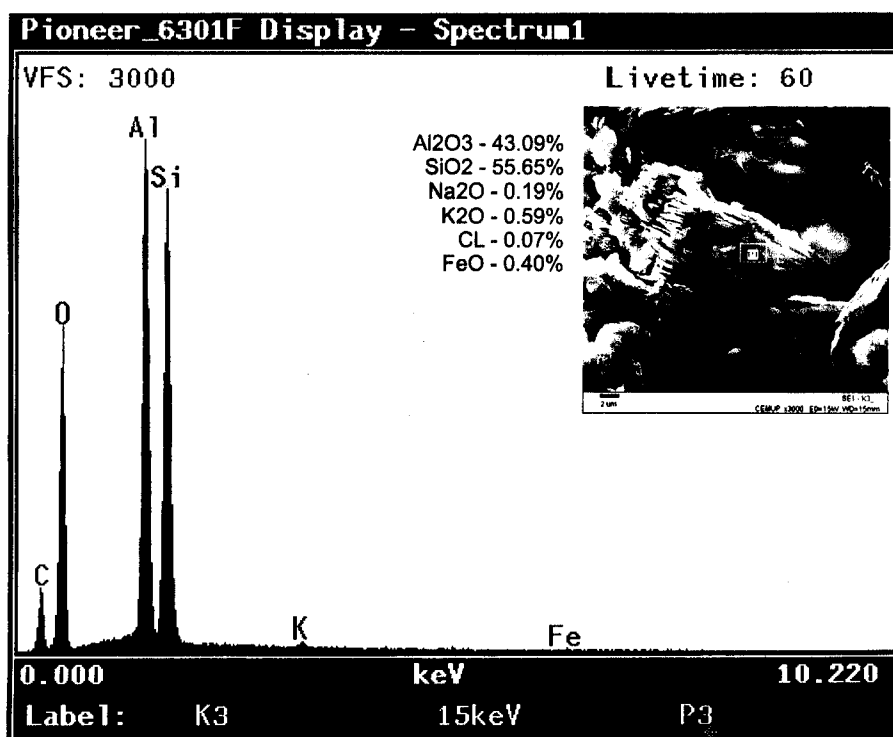


Figura 55 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada num cristal de caulinite.

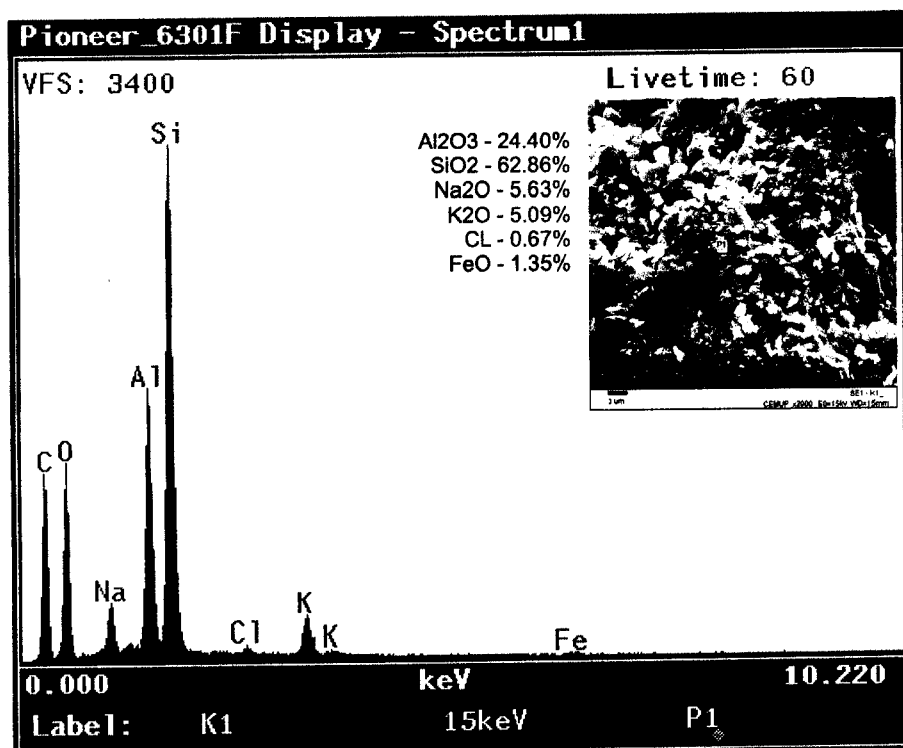


Figura 56 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada partícula pertencente a um feldspato a alterar em caulinite.

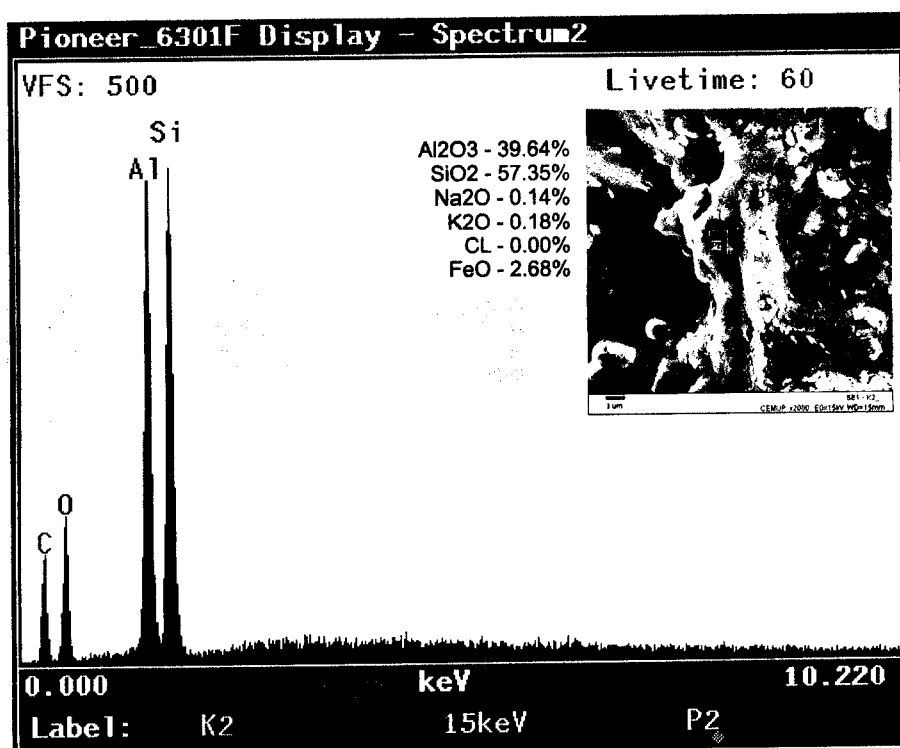


Figura 57 – Espectro EDS e tabela de dados da análise química pontual efectuada numa região que é caracterizada por se encontrar numa fase de dissolução de feldspato.



3 - Estudo geoquímico

3.1 - Análises químicas totais das fracções de <45 µm

Os resultados químicos obtidos (Tab. 17) estão bem relacionados com os dados de mineralogia. A amostra A₀ pode ser considerada como representativa. Os elementos K, Na e Mg podem ser lixiviados das mica e plagioclase, que sistematicamente tendem a ser libertados durante a meteorização. Os teores elevados em Fe₂O₃, observados nas amostras A₁ e A₂, estão associados aos óxidos de ferro, presentes nas argilas vermelhas ou amarelas. As amostras B₁, M₁, M₃ apresentam teores elevados em SiO₂ devido à presença de quartzo nestas fracções. Os resultados foram projectados no diagrama SiO₂ – Al₂O₃ – Fe₂O₃ da Figura 58. No referido diagrama são projectados os campos de feldspatos e de micas. As amostras de caulino apresentam um campo intermédio entre os dois minerais.

Tabela 17 – Análises químicas de elementos maiores da fracção <45 µm.

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total
A ₀ 45 µm	52,0	33,6	0,37	0,38	0,81	0,35	0,03	0,17	0,00	12,29	100
A ₁ 45 µm	40,4	26,9	18,36	0,31	0,43	0,21	0,03	0,09	0,18	13,09	100
A ₂ 45 µm	40,7	26,1	21,55	0,30	0,47	0,26	0,03	0,10	0,07	10,42	100
B ₀ 45 µm	52,6	32,8	0,89	0,26	0,39	0,19	0,04	0,14	0,03	12,66	100
B ₁ 45 µm	65,5	22,4	1,00	1,20	1,92	0,29	0,03	0,32	0,00	7,34	100
M ₀ Arcose 45 µm	52,2	32,9	1,09	0,48	2,40	0,38	0,04	0,34	0,00	10,17	100
M ₁ Argila 45 µm	64,2	22,7	1,37	1,24	1,87	0,28	0,07	0,37	0,00	7,9	100
M _{1a} 45 µm	55,1	30,5	0,91	0,34	2,87	0,25	0,04	0,20	0,00	9,79	100
M ₁ Caulino MS 45 µm	64,4	23,3	1,11	0,89	2,07	0,28	0,05	0,34	0,00	7,56	100
M ₃ 45 µm	69,0	20,3	1,26	1,16	1,70	0,24	0,05	0,36	0,00	5,93	100
M ₃ ' 45 µm	57,0	25,2	4,10	0,85	2,30	0,27	0,12	0,37	0,03	9,76	100
M ₃ Telha 45 µm	56,1	25,1	4,78	0,87	2,03	0,30	0,14	0,38	0,00	10,3	100

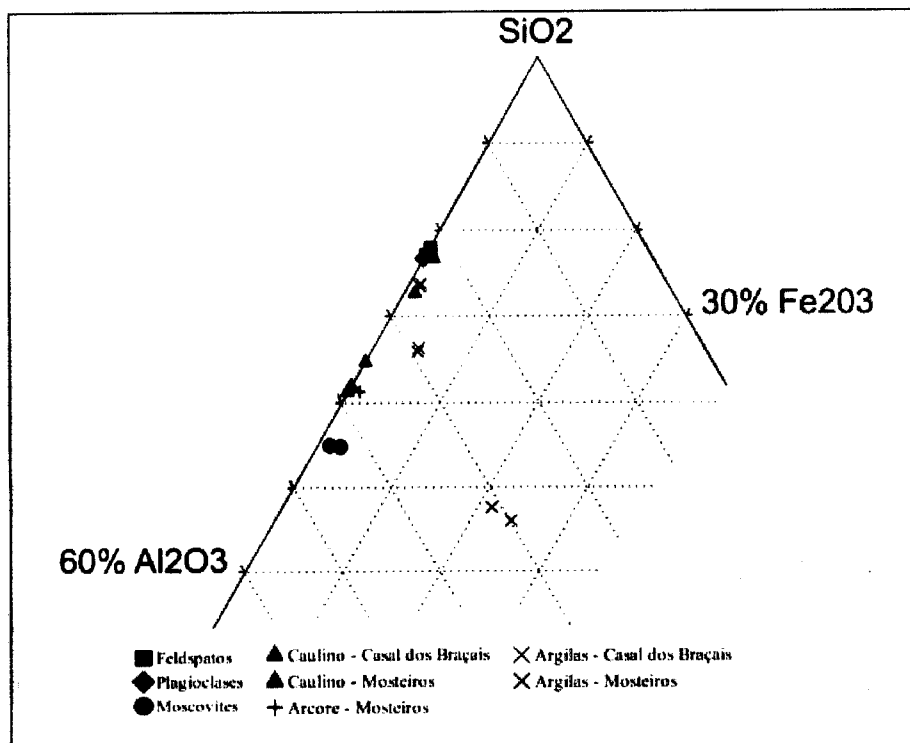


Figura 58 – Projecção dos valores obtidos no diagrama ternário $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$.

3.2 - Análises de elementos traço das fracções de $<45 \mu\text{m}$

Na Tabela 18 são apresentados os valores dos elementos químicos traços analisados por ICP das fracções argilosas de $<45 \mu\text{m}$. Os elementos químicos traços apresenta valores relativos baixos sem nenhum efeito de poluição da respectiva zona com metais pesados. Valores significativos elevados de Pb foram encontrados nas fracções argilosas. O "Clark" desse elemento é de 15 ppm. Vamos assumir que se trata de presença de Pb de origem antrópica, relacionada com a queima dos combustíveis na zona de exploração ou mesmo através pesticidas. A concentração de Pb em solos pode variar de 1 a 888 de $\mu\text{g/g}$, com uma media de 29.9 $\mu\text{g/g}$. O Pb é um elemento menos móvel entre os elementos metálicos pesados. O Pb está ligado através de processos de sorção a minerais argilosos. Caulinite apresenta uma selectividade bastante elevada nos processos de absorção de Pb.

A presença dos elementos químicos de Cr, Ni e Co na composição das areias cauliniticas confirme um processo de reciclagem destes elementos provenientes da camada feralítica ou da zona de paleoalteração. Embora o Cr apresenta valências 2^+ e 6^+ . Em condições ambientais o crómio hexavalente é mais tóxico. Temos de salientar que os teores em Cr apresenta valores sob a abundância media em crosta terrestre.

**Tabela 18 – Análises químicas de elementos traço (ppm) nas fracções <45 µm.**

Amostras	Casal dos Braçais		Mosteiros	
	B0	CS1	M1	MP0
As	4,2	4,4	< L.D.	7,3
Ba	122,4	205,6	292,9	198,6
Be	1,7	1,9	3,8	3,6
Bi	0,7	0,7	0,4	0,4
Cd	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Co	1,5	1,5	7,6	15,2
Cr	56,3	76,4	51,0	57,3
Cs	1,8	3,1	4,4	5,6
Cu	9,4	7,4	10,9	18,3
Ga	37,1	38,2	36,4	37,9
Ge	1,5	1,6	1,1	1,2
Hf	3,1	3,8	3,1	2,5
In	0,1	0,1	0,1	0,1
Mo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Nb	5,4	10,4	6,7	6,6
Ni	9,8	7,8	11,3	24,8
Pb	81,2	66,1	41,7	59,2
Rb	25,1	51,3	128,6	99,1
Sb	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sn	12,6	9,6	8,0	9,2
Sr	98,2	98,6	37,3	36,1
Ta	0,9	1,3	0,8	0,9
Th	9,9	11,7	7,8	8,0
U	2,8	3,6	9,0	6,5
V	49,2	80,3	55,4	66,2
W	1,4	2,7	1,6	1,7
Y	17,1	29,4	53,2	29,3
Zn	14,6	12,6	25,0	47,7
Zr	96,9	125,2	96,0	78,8

3.3 - Análises dos elementos terras raras (REE) das fracções de <45 µm

Os valores das REE's das fracções argilosas de <45 µm são apresentados na Tabela 19. Os valores foram normalizados ter em conta os valores de normalização condrítica australiana (Post-Archean Australian Shale, McLennan 1989). O espectro normalizado das terras raras (Fig. 59) apresenta uma anomalia positiva de Eu, controlada pela fraccionação dos feldspatos. Os REE, uma vez lixiviadas dos minerais da rocha mãe, neste ambiente geoquímico ácido permanecem adsorvidas numa fase argilosa.

Tabela 19 – Análises químicas de elementos terras raras (ppm) das fracções <45 µm.

Amostras	Casal dos Braçais		Mosteiros		Rio Maior
	B0	C1	M1a	M1	S1
La	94,5	81,1	33,5	45,6	70,6
Ce	208,3	186,5	83,8	120,2	98,3
Pr	23,2	22,4	9,7	13,0	18,5
Nd	79,0	84,6	40,3	52,1	66,5
Pm	na	na	na	na	na
Sm	15,4	16,7	9,7	11,6	12,6
Eu	3,4	3,8	3,0	3,2	2,9
Gd	9,0	10,5	9,5	8,7	7,0
Tb	1,1	1,4	1,5	1,2	1,0
Dy	4,8	6,8	9,0	6,5	5,1
Ho	0,7	1,1	1,7	1,1	0,8
Er	1,8	2,9	4,8	3,0	2,1
Tm	0,2	0,4	0,7	0,4	0,3
Yb	1,7	2,7	4,6	2,7	1,9
Lu	0,2	0,4	0,7	0,4	0,3

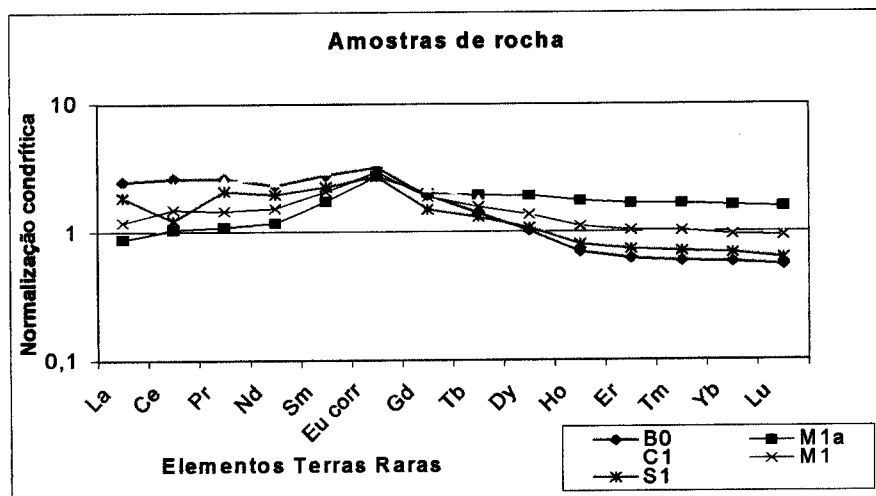


Figura 59 – Normalização de valores analisados de Elementos Terras Raras (McLennan, 1989).



4 - Gênese

Os depósitos de caulino do tipo sedimentar ou, situam-se nas proximidades de maciços constituídos por granitos, gnaisses ou migmatitos que foram submetidos a forte alteração por acção da meteorização intensa que se verificou em determinados períodos geológicos, como por exemplo, Jurássico superior e Terciário inferior. Esses depósitos resultam da acumulação dos produtos da meteorização em bacias tectónicas ou plataformas topográficas situadas na base dos maciços referidos e que foram transportados por cursos de água fluviais. Os depósitos de caulino são estratificados, uns mais outros menos ricos em caulinite. No fundo, são constituídos por areias finas a grosseiras com matriz caulinítica, podendo haver estratos ricos em seixo e calhau e estratos silto-argilosos, estes incorporando, por vezes, camadas finas de lenhite. O caulino com interesse comercial resultou da meteorização, ocorrendo como matriz argilosa em arenitos ou areias. Os depósitos de caulino sedimentar ocorrem em estratos ou camadas horizontais de forma lenticular com espessura média estimada de 6 metros, espessura que pode atingir nuns locais valores mínimos de 3 metros e noutros locais valores máximos de 15 metros. Os sedimentos cauliníticos eram depositados em meio fluvial ou peri-marinho (delatáico, estuarino e lagunar).

Também podemos referir a existência de depósitos de caulino sedimentares formados "*in situ*" sobre produtos sedimentares, arenitos arcósicos. Neste último caso, os feldspatos são caulinizados pela acção das águas meteóricas que se infiltram nos depósitos, que é o caso de Mosteiros, na camada de arcose caulinizada. Também no depósito de Mosteiros encontramos uma argila caulinítica muito plástica, denominada "ball-clay", onde a cristalinidade é de baixo grau de ordem estrutural. A caulinite apresenta uma estrutura desordenada, sendo conhecida como *caulinite D*. Nesta argila denominada "ball-clay" rica em matéria orgânica que contribui para a plasticidade e confere a cor cinzento claro, cinzento escuro ou castanho.



Os depósitos de "ball-clay", em regra, situam-se nas proximidades de maciços de granito ou gnaisses fortemente caulinizados. O material é transportado por cursos fluviais para bacias sedimentares, em regra de origem tectónica, onde se depositam em meio lacustre e acumulam sob a forma de depósitos estratificados, com estratos mais ricos em materiais finos de tipo coloidal e estratos mais ricos em materiais clásticos.

Com base nas observações das litofácies e das estruturas sedimentares pode-se admitir como modelo de sedimentação para o depósito de Casal dos Braçais, a associação de depósitos dos tipos cone aluvial e planície de inundação (flood plain). As descargas detríticas resultaram da forte desagregação das rochas metamórficas da faixa blastomilonítica e rochas sedimentares areníticas de idade Cretácico. A distribuição relativa das litofácies arenosas e argilosas nas sucessões verticais foi influenciada pelo comportamento dos canais do rio e pela neo-tectónica regional. Portanto, os depósitos argilosos associados a planície de inundação, formarem-se na sequência de fenómenos de subsidência tectónica, globalmente fraca, face à pequena espessura da bacia. As condições de fraca energia hidrodinâmica, responsáveis pela laminação plana correspondem a um ambiente de sedimentação lacustre. As modificações verticais pouco frequente estão relacionadas com fornecimentos de materiais grosseiros com características dinâmicas. A estratificação oblique pouco expressiva é um dos aspectos das correntes fluviais.

O ambiente deposicional dos depósitos de caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros sugerem um processo de sedimentação quer em condições subaéreas quer aéreas dependendo dum sistema fluivio-lacustre ou mesmo fluvial. Na formação de areia caulinitica o material foi transportado por rolamento e por suspensão graduada, cuja granulometria sendo dependente de fluxo dos paleocorrentes fluviais. A presença dos níveis de areia caulinitica ou de arenitos com estratificação entrecruzada são indicadores da proximidade de um fluxo organizado, que episodicamente circulava na região de Casal de Braçais. O enchimento da respectiva bacia com material subanguloso a subredondo indica uma dependência dum sistema fluivio-lacustre. A distribuição do material é muito graduada, sendo misturado entre material transportado por rolamento e por suspensão. O desgaste dos clastos foi produzido por mecanismos de saltação e de rolamento.



Dentro do primeiro nível de areia cauliniticas brancas foram reconhecidas alguns níveis conglomeraticos e algum cascalho arenoso. Durante os períodos de fluxo baixo, o sistema fluvial depositaram materiais finas.

As argilas amarelo-avermelhada são características de fácies siderolítico de transporte torrencial. Espessura destes depósitos é de 2-3 m na zona de Casal de Braçais. As fácies siderolítico são bem individualizadas assentando num soco dominante xistoso. O regime siderolitico afirma-se com a presença de argilas cauliniticas com goethite e hematite. Estes níveis têm um significado paleoclimático.

Teixeira et al. (1973) cartografou estas formações como depósitos sedimentares Plio-Quaternários. Por outro lado os níveis siderolíticos que constituem o substrato dos depósitos de caulino de Casal dos Braçais podem ser interpretados como paleoalterações siderolíticas de transporte em fácies fluvio-lacustre.



VI - Impacte ambiental resultante do processo tecnológico

1 - Quadro legislativo

As explorações mineiras e os processos tecnológicos associados têm um impacte ambiental, positivo ou negativo, dependendo dos campos de influência da exploração de um recurso mineral. As condições de exploração, os teores, as reservas, a natureza do minério, a forma do jazigo, a localização e a necessidade ou importância económica do minério, são os factores que reflectem directamente sobre a necessidade e viabilidade da exploração. A exploração e tratamento do minério, vão influenciar o meio ambiente, criando impactes de várias ordens e tipos.

1.1 - Tipos de impacte ambiental

Na Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87, de 7 de Abril) encontram-se todas as referências aos pontos susceptíveis de impacto e aos direitos ambientais. Esta lei divide os impactes em duas componentes básicas: ambientais naturais e ambientais humanos e destas interessa realçar os pontos mais directamente envolvidos na actividade mineira.

1.1.1 - Componentes ambientais naturais

Os componentes ambientais naturais são o ar, a água, solos e subsolos, fauna e flora. Estes pontos vão ser comentados e caracterizados do ponto de vista legislativo.

Ar

A qualidade do ar é defendida pelo "Artigo 8º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril" que transmite a impossibilidade de criar novos empreendimentos que lancem para a atmosfera quaisquer substâncias nocivas e que obriga todas as instalações ou máquinas a possuírem sistemas de minimização ou neutralização de substâncias poluidoras. O "Dec. de Lei n.º 276/99, de 23 de Julho" define a política de gestão e avaliação da qualidade do ar.



Dependendo do âmbito e do tipo de emissão poluente, existem uma série de Portarias e Resoluções do conselho de Ministros que regulamentam os valores de concentração, máximos e admissíveis, para os poluentes listados no Anexo I do "Dec. de Lei n.º 276/99, de 23 de Julho".

Água, solos e subsolos

A água, como um dos melhores meios dispersores e como meio de transição entre o ar e o solo, é sem dúvida o mais ponto complexo e diversificado. Contudo os recursos hídricos são definidos pelo "Artigo 10º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril" consoante a origem, a aplicabilidade e destinos de rejeição. Embora a regulamentação geral se enquadre no "Dec. de Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto", cada tipo de água é regulamentado por um documento específico.

Atentando para os tipos de água, definidos na legislação e envolvidos numa exploração mineira como, águas para consumo humano, águas para uso industrial e águas residuais (domésticas ou industriais), podemos enquadrar quase todos os tipos de explorações mineiras à excepção das que se referem a substâncias radioactivas.

Os solos e os subsolos encontram-se defendidos no "Artigo 13º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril" e regulamentados em legislação específica onde se eleva o grau de protecção em áreas ardidas, áreas com plantações específicas e em áreas de potencial exploração de massas minerais (pedreiras).

De referir que não existe um decreto de lei que regule especificamente o processo de atribuição de concessão mineira ao contrário dos processos de licenciamento de pedreiras que se encontra regulamentado pelo "Dec. de Lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro". É claro que por parte das Autoridades de Avaliação de Impacte Ambiental todo o processo de Estudo de Impacte Ambiental (EIA) para uma Concessão Mineira não está desprovido de segurança do ponto de vista da legislação encontrando-se a salvaguarda no "Dec. de Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio" que torna o estudo mais complexo e por vezes incomportável para a maioria das empresas mineiras nacionais.



Fauna e flora

A fauna e flora constam dos “Artigos 15º e 16º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril” e são vastamente protegidos em decretos específicos e regulamentados em vários documentos de modo a proteger áreas e habitats de espécies. Estes documentos influenciam a actividade mineira na atribuição de áreas protegidas como a Rede Natura 2000, a Reserva Ecológica Nacional e Parques Naturais, que são áreas extensas do território nacional (mais de 45%) onde a actividade mineira é bloqueada impedindo a exploração de reservas importantes.

1.1.2 - Componentes Ambientais Humanas

As componentes ambientais humanas centram-se em pontos como a paisagem, património natural e construído e no tipo de poluição e contaminação a vários níveis.

Paisagem

A defesa e gestão da paisagem são definidas pelos “Artigos 18 e 19º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril” e contribuem para que todos os projectos que envolvam alterações da paisagem sejam alvo de avaliação, como qualquer exploração, nomeadamente as explorações a céu aberto, implicam grandes alterações da paisagem e levam a estudos e trabalhos de grande complexidade de modo a minimizar esses impactes. É também esta lei que regula a classificação em legislação própria de zonas e sítios específicos de áreas de paisagem protegida.

Património Natural e Construído

O património natural, arqueológico, arquitectónico e a rede viária, são defendidos no “Artigo 20º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril” e apresentam-se como eventuais condicionantes da actividade mineira devido à importância histórica, cultural e natural que apresenta para uma determinada população.

1.1.3 - Poluição e contaminação

A componente ambiental humana, poluição, é tratada separadamente e relacionada com definição de contaminação.



No Artigo 22º do Dec. de Lei n.º 11/87, de 7 de Abril. Pode ler-se como definição de poluição:

“1 – São factores de poluição do ambiente e de degradação do território todas as acções e actividades que afectem negativamente a saúde, o bem estar e as diferentes formas de vida, o equilíbrio e a perenidade dos ecossistemas naturais e transformado, assim como a estabilidade física e biológica do território.

2 – E são causas de poluição do ambiente todas as substâncias e radiações lançadas no ar, na água, no solo e no subsolo que alterem, temporária ou irreversivelmente, a sua qualidade ou interfiram na sua normal conservação ou evolução.”

Com esta definição de poluição, a actividade mineira só por si já é poluição o que economicamente não é nada favorável ao desenvolvimento e prosperidade da indústria mineira em Portugal.

O ruído, os compostos químicos, os resíduos e efluentes são uma parte integrante da actividade mineira, encarar estes problemas como um mal é simples, complicado é não encarar a actividade mineira como a dilaceração do meio e juntar esforços para que seja possível conciliar a viabilidade económica de uma exploração mineira e o equilíbrio natural.

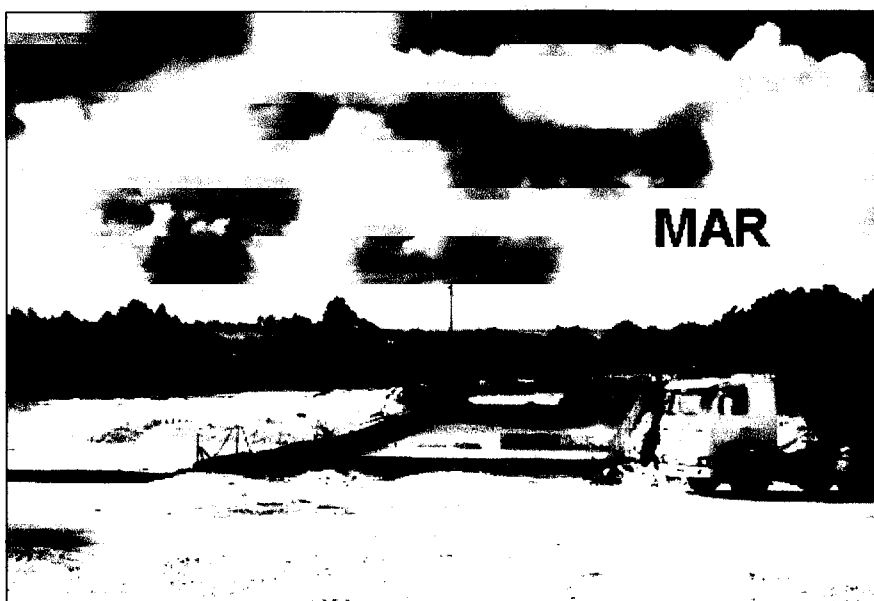
Genericamente, poluição designa a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio geológico como resultado da introdução no ambiente de substâncias capazes de causar prejuízos aos sistemas ecológicos ou à saúde humana e Contaminação implica um perigo real, neste caso, pela utilização do recurso geológico.

1.2 - Descritores Ambientais

Os descritores ambientais considerados pela legislação portuguesa, no caso de se tratar de um estudo de impacte ambiental são: o clima, a geologia e a geomorfologia, os solos, a paisagem, a água, o ar, o ruído, as vibrações, os aspectos biológicos (fauna e flora), o património e os aspectos socio-económicos.

1.2.1 - Clima

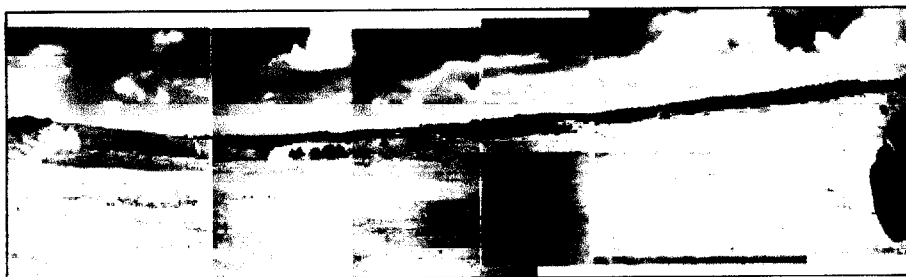
Numa exploração de caulino não se prevêem, a nível regional impactes significativos no clima (Foto. 19). No entanto em explorações de grandes dimensões, que afectam grandes áreas de terreno, podem provocar alterações na evapotranspiração, devido à eliminação da vegetação, a bacias de decantação ou exposição do nível freático, causando desta forma alterações na humidade da zona, bem como pequenas variações da temperatura. Outro dos problemas que podem surgir em grandes explorações, que causem alterações significativas na morfologia do terreno, são alterações no regime de ventos, em resultado das perturbações causadas na circulação de ar da zona. Relativamente às condições climáticas, estas apenas são susceptíveis de sofrerem uma ligeira alteração a nível microclimático, em virtude da elevada dependência demonstrada por alguns factores climáticos face a descritores ambientais como a vegetação e o relevo.



Fotografia 19 – O clima é condicionado pela proximidade do mar (depósito de Casal dos Braçais).

1.2.2 - Geologia e geomorfologia

As acções com maior significado numa exploração a céu aberto são usualmente a escavação do maciço (Foto. 20 e 21) e a deposição dos rejeitados em escombreiras. Estas duas acções são, no caso deste descritor, as que originam maiores impactes. Ambas acarretam alterações que podem ser significativas, na geomorfologia da região, ao mesmo tempo que implicam o consumo do maciço, inevitável neste tipo de actividade, e propiciam o aumento da erosão, uma vez que colocam a descoberto massas minerais desprotegidas. A abertura de novas vias de acesso também provoca impactes neste descritor, uma vez que origina alterações na morfologia do terreno.



Fotografia 20 – Alteração da morfologia do terreno em Casal dos Braçais.



Fotografia 21 – Alteração da morfologia em Mosteiros a partir de ortofotomapa (CNIG, 1995).



1.2.3 - Solos

A actividade mineira acarreta de forma directa e evidente alterações no solo, essencialmente no que diz respeito à modificação do uso, ao nível estrutural, perda de volume e diminuição ou destruição da capacidade de uso e aptidões potenciais. As explorações mineiras, nomeadamente as que são a céu aberto, implicam alterações na geomorfologia local, em resultado das escavações e da armação do terreno em socacos para conferir estabilidade. Estas acções implicam geralmente a destruição e anulação da respectiva capacidade de uso potencial, nomeadamente a sua aptidão agrícola, capacidade potencial à florestação, entre outros aspectos. Por outro lado as poeiras, se não forem em grande quantidade, podem fertilizar o solo por dispersão de partículas minerais sob a superfície (Foto. 22).



Fotografia 22 – Utilização de solos em Casal dos Braçais (1 - Plantações de eucalipto; 2 - Terreno não trabalhado; 3 - Terreno cultivado; 4 - Terreno florestado; 5 - Terreno arado).

Este impacte é irreversível durante o tempo útil da exploração, constituindo geralmente para o solo e dado o tipo de actividade em estudo, o impacte negativo de maior magnitude e significância. Resultam essencialmente dos cortes transversais no solo, consequentes das escavações necessárias à exploração. Este tipo de acção, torna indefinidos os perfis e horizontes edáficos e principalmente incorre na desagregação, associada à total exposição do material, originando o desenvolvimento a larga escala de processos erosivos e consequente perda de solo. Neste contexto, considera-se "perda de solo", todo o quantitativo de material não explorado, perdido e alterado por erosão e deslizamento de camadas terrosas. Os Impactes na ecologia do solo devem-se a alterações induzidas na actividade microbiana de determinados tipos de solos. É geralmente um impacte com menos significância que os anteriores, no entanto, podem por vezes em certas condições, atingir especial importância. Esta destruição da comunidade microbiana dos solos é provocada essencialmente, por falta de oxigénio ou matéria orgânica devido à compactação dos solos, podendo originar a sua esterilidade.

1.2.4 - Paisagem

A paisagem industrial resultante da actividade extractiva, decorre da relação entre a tipologia e geometria das áreas de escavação e áreas de depósito, infra-estruturas de apoio, vias de circulação, áreas de transformação e a sua relação com o meio envolvente, que pode ser integralmente rural, urbano ou industrial.

Os principais impactes na paisagem deste tipo de actividade resultam essencialmente das características do meio envolvente e da sua relação com as características da paisagem industrial gerada. Nomeadamente, a superfície ocupada pelas áreas de escavação (Foto. 23 e 24) e de depósito, aterros de desperdício, lamas, sucatas e outros, e as alturas máximas alcançadas por estes últimos, assim como das infra-estruturas de apoio, a que se junta a existência de novos caminhos e consequente aumento de tráfego e tempo de exploração, são os principais geradores de impactes.

Estas alterações começam com o início da fase de preparação dos terrenos, em que a desmatagem e a decapagem dos mesmos, constituem um forte impacte, uma vez que provocam uma alteração brusca. A fase de exploração provoca um agravamento das alterações na paisagem, mas processadas de forma mais gradual.



Fotografia 23 – Vista de Casal dos Braçais a partir do clube de golf da Serra Del Rey.

A criação de um empreendimento deste tipo origina a formação de zonas de descontinuidade visual e funcional, devido a uma alteração da cor, forma e textura do terreno. Além disto, provoca alterações na morfologia existente, devido à abertura de crateras pela exploração e à deposição em escomboreiras dos rejeitados e além disso, as bancadas de desmonte possuem muitas vezes formas geométricas, que contrastam com as formas naturais da paisagem, as estruturas de apoio e estruturas como a central de britagem, constituem intrusões de grandes dimensões, de forma e tamanho desenquadrado com a envolvente.



Fotografia 24 – Impacte visual reduzido da mina de Mosteiros

1.2.5 - Água

Os impactes no descritor ambiental água, devido ao estabelecimento e funcionamento de uma exploração mineira, encontram-se relacionados com a diminuição da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na envolvente à unidade industrial, alterações no sistema e condições de drenagem superficial, redução da infiltração das águas pluviais, intersecção do nível freático (Fig. 25 e 26).



Fotografia 25 – Efluentes líquidos da bacia de decantação de Casal dos Braçais. Em 2002 os resíduos líquidos eram decantados e lançados na linha de água. A partir de 2003 o sistema passou a reciclar a água industrial, passando a uma situação de não emissão de efluentes.

Os impactes provocados na qualidade das águas advêm do funcionamento de uma exploração mineira, susceptíveis de causar contaminação nas águas. Poluição orgânica, proveniente das instalações sanitárias de sistemas de apoio ao funcionamento da unidade industrial, tais como, residências dos operários, escritórios, oficinas, ou proveniente de derrames de combustíveis e óleos, associados aos veículos da exploração bem como pela utilização de detergentes nas oficinas. O aumento considerável da concentração de sólidos na água, devido a um aumento da erosão hídrica ou mesmo, por utilização de água no processo produtivo da instalação e nas unidades de lavagem do minério ou para minimização de poeiras e finalmente, o tráfego de maquinaria pesada na área de intervenção, é outra das acções de projecto que leva a aumentos da concentração de sólidos nos cursos de água envolventes às explorações.



As alterações na rede de drenagem local provocam impactes na rede de drenagem superficial (Anexos 4 e 5) tendo como principais origens, a decapagem dos terrenos de cobertura e escavação do maciço rochoso, com eventual criação de escombreira de rejeitados, a implantação de caminhos e infra-estruturas de apoio e assoreamentos a jusante, provocados pelo aumento do teor de sólidos, nas águas de escorrência.

A redução nos teores de infiltração tem como principais motivos a remoção dos terrenos de cobertura, e da vegetação que os revestia, bem como a compactação dos terrenos devido à circulação de maquinaria pesada. Esta redução vai originar caudais máximos de cheia mais elevados, originando por sua vez maior arrastamento de partículas, e menores recargas de água ao aquífero.



Fotografia 26 – Lagos de exploração e inserção no nível freático.

Quando o nível freático se encontra a cotas elevadas, ou quando a escavação atinge grandes profundidades, pode ocorrer a intersecção do nível freático originando o aparecimento de água na base da escavação. Esta é uma situação, que origina não só, problemas a nível técnico para a gestão da exploração, mas também possíveis problemas a nível ambiental. Os principais problemas a nível técnico prendem-se com o aparecimento de uma lagoa no fundo da escavação, que irá obrigar ao funcionamento constante de bombas, de modo a permitir a normal operação das actividades de extracção. O segundo destes problemas prende-se com a hidrologia do local. Desta forma, a natureza litológica do substrato bem como a sua estrutura e geometria, vão condicionar bastante a tipologia de acontecimentos associados à intersecção do nível freático e às alterações nesse nível em resposta a essa intersecção. O abaixamento brusco do nível freático em consequência da drenagem da exploração pode originar fenómenos de instabilidade de taludes, ou mesmo abatimentos. Quanto aos problemas ambientais, estes prendem-se com o abaixamento do nível freático da região, podendo afectar captações de água vizinhas, bem como a flora vizinha; e o lançamento para a rede de drenagem superficial, da água captada na base da exploração (Cupeto, 1997).

1.2.6 - Ar

O ar é um dos descritores ambientais sobre o qual a actividade das explorações mineiras a céu aberto exerce certos e importantes impactes negativos, tanto para o ambiente como para o Homem. As fontes de emissão de gases nocivos são, neste tipo de indústria, fundamentalmente, a queima dos combustíveis usados na maquinaria associada e os produtos resultantes do tratamento dos minérios. Estes gases nocivos, são essencialmente constituídos por monóxido de Carbono, dióxido de Enxofre, óxidos de Azoto. Fortes concentrações destes gases conduzem à morte de seres vivos animais por envenenamento do sangue, ou agridem as vias respiratórias causando asma, bronquites e alergias. Estes gases no entanto são gerados em volume pouco significativo, sendo facilmente dispersados pela mobilidade do ar atmosférico, causando por isso impactes desprezáveis.



Fotografia 27 – Emissão de poeiras devido à circulação de viaturas em estradas de terra batida.

Os principais causadores de impactes no ar nas explorações mineiras são as partículas sólidas finas, vulgo poeiras. Estas têm origens como a laboração na frente de desmonte, acção do vento nas frentes de lavra e pilhas de estéril, as operações de carregamento, transporte e descarga dos materiais (Foto. 27). A agressividade e perigosidade das poeiras para o meio envolvente dependem da sua composição química, granulometria e densidade. Desta forma, sabe-se que as partículas de sílica são muito mais prejudiciais para a saúde, do que as partículas por exemplo de calcário, uma vez que estão associadas ao aparecimento das silicoses, no entanto a concentração de poeiras no ar e a duração da exposição tem que ser elevada para o aparecimento desta patologia. A granulometria é o factor mais importante no que diz respeito às questões de insalubridade, podendo-se classificar em partículas pequenas ($<1\ \mu\text{m}$), partículas finas (entre 1 e $25\ \mu\text{m}$), partículas maiores ($>25\ \mu\text{m}$). As primeiras não permanecem no aparelho respiratório, enquanto as segundas não são expulsas pelo mesmo, permanecendo no tecido pulmonar. As partículas graúdas não são inaladas. Quanto à densidade das partículas, a sua influência prende-se com os fenómenos de dispersão. Além disto, as condições climatéricas na região da pedreira também influenciam grandemente as taxas de geração das poeiras e a sua dispersão (Cupeto, 1997).

1.2.7 - Ruído

As fontes de emissões de ruído, na generalidade das explorações mineiras, são usualmente de três tipos:

a – Da actividade extractiva e de transporte dos materiais no interior da pedreira, tratando-se de uma fonte móvel;

b – De carácter não permanente, onde se incluem as frentes de lavra e zonas adjacentes;

c – Dos acessos temporários às frentes de lavra das quais as principais emissões de ruído são devidas ao funcionamento da maquinaria pesada de extracção, dumpers, escavadoras giratórias, pás carregadoras, furadoras, etc., e ao uso de explosivos, quando aplicável.

As actividades industriais que se desenrolam paralelamente à extracção do maciço, como a central de tratamento do minério e a expedição dos produtos (Foto. 28), tratam-se de fontes estacionárias, lineares e de carácter não permanente, onde as principais zonas emissoras são o acesso principal da exploração e as estradas na envolvente mais próxima, devido ao acréscimo de tráfego decorrente das actividades de expedição dos produtos extraídos e transformados na mina.



Fotografia 28 – Fontes de ruído nas explorações de caulino.



O funcionamento de uma exploração irá desta forma, provocar um aumento dos níveis de ruído da região, podendo causar incomodidade nas populações humanas mais próximas, bem como provocar a destruição de ecossistemas, devido ao afastamento das espécies de fauna mais sensíveis. Além destes, o ruído também pode afectar os próprios trabalhadores da pedreira, provocando aumento de fadiga e stress, ou mesmo problemas de audição em casos mais extremos.

1.2.8 - Vibrações

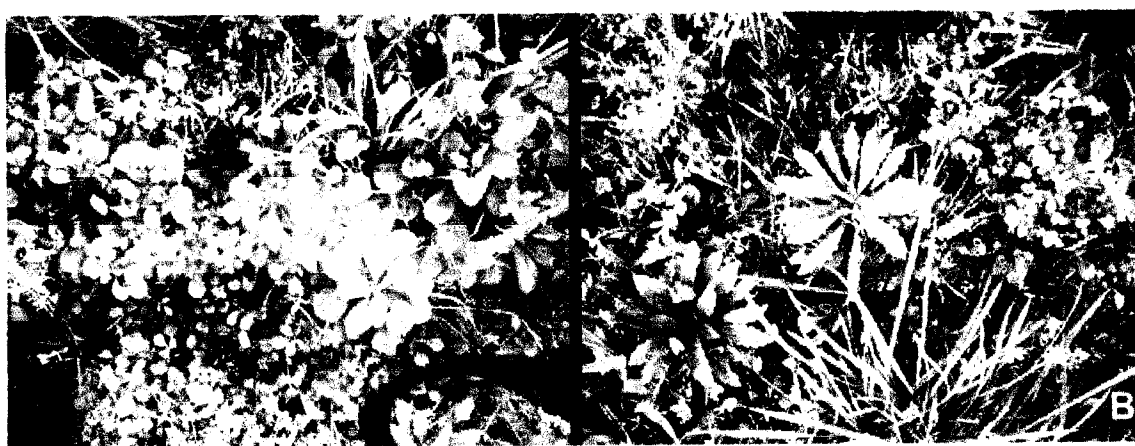
Embora existam vibrações devidas ao funcionamento das máquinas e equipamentos, usualmente desprezáveis, os impactes ao nível das vibrações, associados à fase de exploração, são essencialmente devidos ao desmonte com explosivos, que no caso de explorações de caulino não é muito usual, mas como descritor ambiental também é referido. Os principais impactes resultantes da libertação de grande quantidade de energia devido ao uso de explosivos, prendem-se com as vibrações transmitidas aos terrenos sob a forma de ondas sísmicas, que além de causarem desconforto humano, podem originar danos em estruturas vizinhas e mesmo nos terrenos envolventes, tais como, levantamentos, deslizamentos, cisalhamentos e assentamentos das estruturas afectadas.

1.2.9 - Aspectos biológicos

As acções decorrentes numa exploração de inertes a céu aberto, provocam alterações, muitas vezes irreversíveis, na fauna e flora do local de intervenção, bem como na envolvente mais próxima. Estas alterações são tanto mais significativas quanto maior for a importância e sensibilidade dos ecossistemas em questão, não só em termos paisagísticos e conservacionistas, como também da funcionalidade das formações presentes em relação aos habitats que induzem naturalmente.

Durante a fase de preparação de uma exploração, ocorrem os impactes mais significativos para a flora, uma vez que se verificam perturbações directas fortes, associadas à desmatação e decapagem dos solos de cobertura, criação de acessos e infra-estruturas de apoio, com remoção e destruição de todo o coberto vegetal, originando a interrupção de fitosucesões passíveis de ocorrer. Outro impacte significativo ocorre essencialmente durante a fase de exploração do empreendimento, em resultado da emissão de poeiras originadas pelas actividades de extracção, tratamento e transporte de inertes. Trata-se de um impacte negativo, reversível, que afecta praticamente todo o coberto vegetal, por redução da capacidade fotossintética, através da deposição de poeiras nas superfícies foliares (Foto. 29). Em explorações em que ocorra intersecção do nível freático com abaixamento do nível deste, podem ocorrer nas áreas contíguas à exploração diminuições da produtividade biológica por stress hídrico, essencialmente das árvores de grande porte.

Durante a fase de preparação dos terrenos são também previsíveis resultados na mortalidade directa de alguns animais, por esmagamento de indivíduos em tocas, ninhos e animais de locomoção lenta. São também previsíveis a diminuição das áreas vitais e a morte da fauna hipógea, toupeiras, roedores, herpetofauna, já que a remoção completa do coberto vegetal, a compactação dos solos e as movimentações de terra, provocarão a destruição de áreas de alimentação e refúgio da fauna, e a eliminação física de alguns indivíduos de espécies de vida hipógea.



Fotografia 29 – Aspecto das plantas a uma distância de 50 metros das estradas (A) e junto às estradas (B).



As emissões de poeiras podem afectar também as populações animais, provocando alterações fisiológicas e comportamentais, quer directamente, quer indirectamente pela redução da produção primária. Alterações aos níveis de ruído da região, por acção sinérgica com outros factores de perturbação, poderá determinar a ausência ou escassez de espécies com comportamento antropofóbico marcado. Igualmente poderá induzir a supressão de etapas do ciclo anual, por exemplo a da reprodução, de espécies sensíveis. O aumento da erosão superficial originada por uma pedreira poderá trazer também impactes negativos nas comunidades piscícolas das linhas de água envolventes, por turvação das mesmas, e também pelo aumento das taxas de assoreamento destas. São também previsíveis aumentos da frequência de atropelo, em resultado do aumento da utilização da área e do desenvolvimento das estruturas rodoviárias associadas.

1.2.10 - Património

Existem hoje em dia, grandes preocupações pela preservação de locais de interesse arqueológico e histórico (Foto. 30). Desta forma, a existência destes locais é geralmente incompatível com o funcionamento de uma exploração, sendo portanto complexa a implementação de uma exploração em zonas com estas características especiais. No entanto, existem exemplos de descobertas arqueológicas durante as primeiras fases de prospecção e de remoção dos solos de cobertura.



Fotografia 30 – O Castelo de Alcanede é um exemplo de estruturas edificadas, que devem ser preservadas durante uma exploração mineira. Neste caso a distância é considerável e o impacte é considerado nulo.

1.2.11 - Socio-económicos

Os impactes neste descritor, decorrentes da implantação e funcionamento de uma exploração a céu aberto são originados principalmente pelo aumento do tráfego da região, causado pelas actividades de expedição do produto da indústria e tem como principais impactes negativos:

- a) O aumento do ruído junto às vias de circulação e degradação mais acentuada das vias das estradas mais usadas contribuem para aumento do stress das populações afectadas por esse acréscimo de circulação de veículos (Foto. 31);



Fotografia 31 – Circulação de veículos pesados em zonas urbanas.

b) O acréscimo de sujidade das vias, essencialmente durante o Inverno, o que pode originar a diminuição do atrito e consequente aumento dos níveis de sinistralidade;

c) O aumento nos níveis de emissão de poeiras podem provocar alguma degradação da qualidade do ar;

d) As acções de desmonte que geram impactes negativos, quando são sentidos pelas populações locais na forma de ruído, vibrações transmitidas às habitações.

A criação de um novo complexo industrial, que a nível local origina significativos impactes positivo:

a) Tratando-se de uma actividade geradora de postos de trabalho, não só directos, na própria indústria, mas também indirectos uma vez que potencia a criação de diferentes actividades económicas para a produção de bens e serviços consumidos nas diversas fases do ciclo de vida

b) Facilita o desenvolvimento dos sectores das obras públicas da região, contribuindo favoravelmente para o desenvolvimento da economia.

A Implementação do Plano de Recuperação Paisagística e uma correcta aplicação deste plano, pode trazer importantes impactes positivos para a região, uma vez que pode originar a criação de espaços ao serviço da população (Foto. 32).



Fotografia 32 – Exemplo de fitoremediação numa lagoa de exploração.

2 - A Geologia na avaliação de impacte ambiental

A geologia tem um grande contributo no processo de avaliação de impacte ambiental, o apoio à exploração de recursos naturais, nos processos de avaliação de impacte ambiental e o estudo e projecção de meios eficazes de monitorização, controlo, minimização e recuperação de impacte ambiental relacionado com a geologia e a actividade mineira.

Os contributos da geologia não podem ser ignorados visto que para a viabilidade económica servir como base de sustentação e argumento de um determinado projecto mineiro, toda a fase de monitorização, controlo, minimização e recuperação da zona deve ser contabilizada durante a execução desse mesmo projecto de modo a tornar fundamentada e irrefutável a exploração e subsequente contribuição económica para o estado, para a região e para a população.

Atingir o equilíbrio entre a exploração de um determinado recurso geológico e a alteração do meio é complexo. A determinação do valor de um recurso mineral é quantificável e fundamentada no valor económico, enquanto que o património natural ou sociológico é baseado na percepção e relacionado com os valores humanos sendo complexa e por vezes ambígua a sua avaliação.

A curto prazo a gestão de recursos deve centrar-se nas reservas (Fig. 60), ou seja depósitos economicamente viáveis num determinado espaço de tempo, a longo prazo, essa gestão deve centrar-se nos recursos e planear a exploração ponderando todos os factores económicos, sociais e tecnológicos que possam tornar um recurso numa reserva, por alteração dos custos de exploração. As questões ambientais, com uma importância crescente na actualidade, têm um forte potencial redutor da viabilidade de um projecto por alteração da economia e gestão de um projecto de exploração. Deste modo, a determinação dos recursos geológicos totais encontra-se em constante alteração dependendo do desenvolvimento técnico e social.

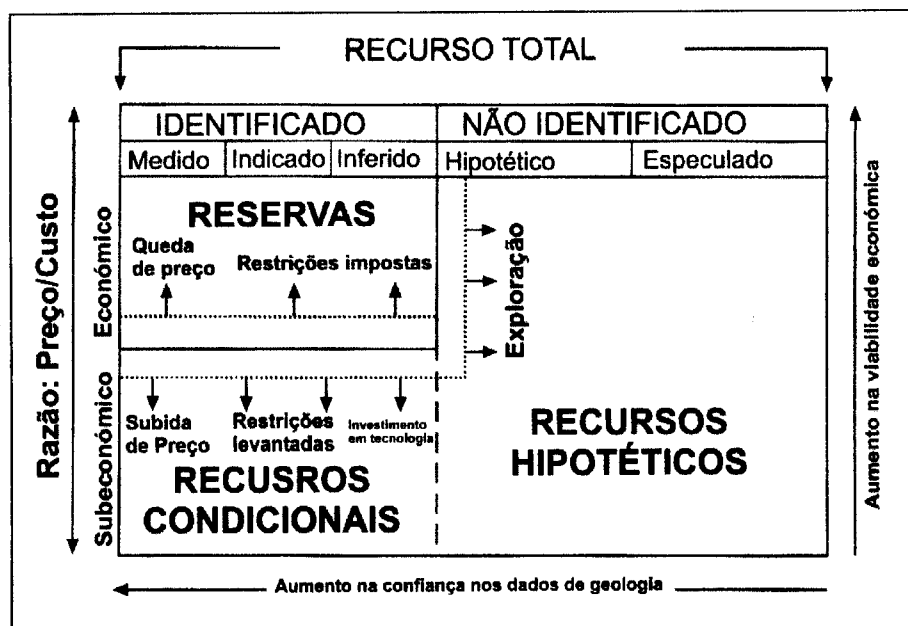


Figura 60 – Relação entre recursos e reservas. A dimensão de uma dada reserva relativamente ao recurso total apresenta variáveis como a exploração, o preço, a tecnologia e os regulamentos políticos (Reedman, 1979)

Toda a actividade de exploração de um recurso mineral está associada com algum tipo de impacte ambiental, seja durante ou depois da exploração. Deste modo o objectivo do geólogo ambiental é minimizar e monitorizar esses impactes.

No caso das explorações de caulino em Casal dos Braçais e Mosteiros, podemos encontrar como impactes imediatos os depósitos de escombreira, a unidade de produção e a zona de exploração ou céu aberto.



Os depósitos de escombreira podem ser divididos em dois tipos essenciais, os de exploração onde se podem referir os cobertos de solos vegetais e rochas não valorizáveis, e os de beneficiação dos materiais onde se podem referir as lamas ou materiais sólidos resultantes do tratamento de minério, como é evidente a proporção de água no material rejeitado depende do material e do método de tratamento. Estes depósitos devem ser colocados próximo das explorações e a água bombeada ou conduzida por gravidade para locais mais apropriados. De um ponto de vista ambiental as explorações em que este problema é maior quando são as explorações de materiais com baixos teores, como o ouro, onde é necessário extrair grandes quantidades de rocha para retirar apenas alguns gramas de metal, no caso das explorações de caulino sedimentar, onde os teores são elevados e a exploração pode ser muito mais rentabilizada retirando o caulino e os sedimentos restantes para a construção ou outras indústrias. Em qualquer um dos casos a acumulação de materiais pode trazer problemas de ordem ambiental graves como a perda de consistência do depósito de materiais estéreis e consequente movimentação podendo provocar movimentos de terras com consequências graves, a lixiviação dos materiais depositados para os aquíferos ou mesmo a subsidência do terreno devido ao peso dos materiais armazenados.

A unidade de produção e a zona de exploração apresentam problemas como o ruído, devido aos métodos de desmonte e de tratamento, as poeiras devido à criação de partículas finas durante os processos mineiros e aumento de tráfego devido ao transporte dos materiais, que pode ser minimizado com aspersores de água ou mesmo com a pavimentação de caminhos. Outro problema importante é o buraco propriamente dito que cria um impacte visual que pode e deve ser controlado por vários métodos como a criação de bermas altas ou barreiras de terras vegetais ou então barreiras de arbóreas. No caso de explorações que atinjam ou operem abaixo do nível freático os impactes podem ser muito significativos devido à alteração da estabilidade do aquífero.



2.1 - Água

A água é provavelmente o recurso fundamental ao suporte da vida, embora grande parte da Terra esteja coberta por água só 0,4% dessa água se encontra em condições de utilização directa para consumo humano, 1,6% encontra-se nas calotes geladas dos pólos e os restantes 98% encontram-se nos oceanos e mares. Um problema ainda maior do que a quantidade de água disponível para consumo humano é a distribuição da mesma, onde podemos encontrar países como a Islândia que tem 20000 vezes mais água por habitante do que o Egipto. Deste modo a distribuição de água é um ponto importante e a gestão da mesma deve ser cuidada permitindo uma reutilização por reciclagem de água, assim podemos considerar que a utilização da água para usufruto do Homem envolve três componentes, a aquisição e distribuição, a reciclagem e redistribuição, e finalmente o tratamento e despejo das águas não reutilizáveis.

Numa exploração, água que é bombeada deve ser tratada convenientemente, de modo a evitar a contaminação dos aquíferos adjacentes. A exploração mineira aumenta a superfície de exposição do depósito mineral e conseqüentemente aumenta também a velocidade de alteração por exposição, em parte devido ao aumento da circulação de fluidos. Frequentemente as explorações mineiras contribuem com uma alteração negativa da qualidade da água nos aquíferos.

A descarga de águas não tratadas no meio natural implica uma série de impactes negativos como a redução de organismos vivos na água, a redução de alimento para os peixes ou mesmo a morte directa dos peixes. As águas particularmente ácidas devem ser tratadas e decantadas antes de serem libertadas para o meio. De referir que o problema da água nas explorações mineiras vai muito para além da fase operativa da exploração podendo afectar mais e mais longe consoante o tempo e as condições em que é abandonada.

O impacte nas águas manifesta-se essencialmente, ao nível da qualidade das águas, clareza e qualidade química, no desvio do curso das águas superficiais, manutenção dos escoamentos e influência no caudal dos regatos, ao nível dos recursos de água subterrâneos, alteração do nível dos lençóis de água. Esses impactos manifestam-se de diferentes maneiras a nível da mina e da unidade de tratamento.

O impacte mais importante da exploração de caulino na qualidade da água reside na emissão de águas carregadas de materiais em suspensão. Essas partículas são constituídas por minerais argilosos muito finos. micas e areias finas.

Nos casos de Casal dos Braçais e Mosteiro, desde 2002 que o esquema de produção se mantém em circuito fechado, reciclando e reutilizando a água industrial, reduzindo o consumo de água do aquífero e a emissão de efluentes líquidos (Foto. 33). Deste modo esses efluentes foram reduzidos a menos de 10 litros por hora em 2003 (Fig. 25).



Fotografia 33 – Método de reciclagem de água industrial em Casal dos Braçais. A água que resulta da lavagem das areias e do tratamento dos caulinos volta para o sistema, depois de ser decantada, tornando-o fechado e livre de emissões de efluentes.

O depósito de Casal dos Braçais localiza-se a 50 metros acima da margem direita do Vale Bem Feito, e a cerca de 20 metros acima de Poço Salgueiro a Nordeste, os dois rios da zona, sendo a rede hidrográfica é pouco desenvolvida na área em estudo, onde a maior parte das bacias hidrográficas da região situam-se a cotas inferiores a 100 metros (Fig. 61).

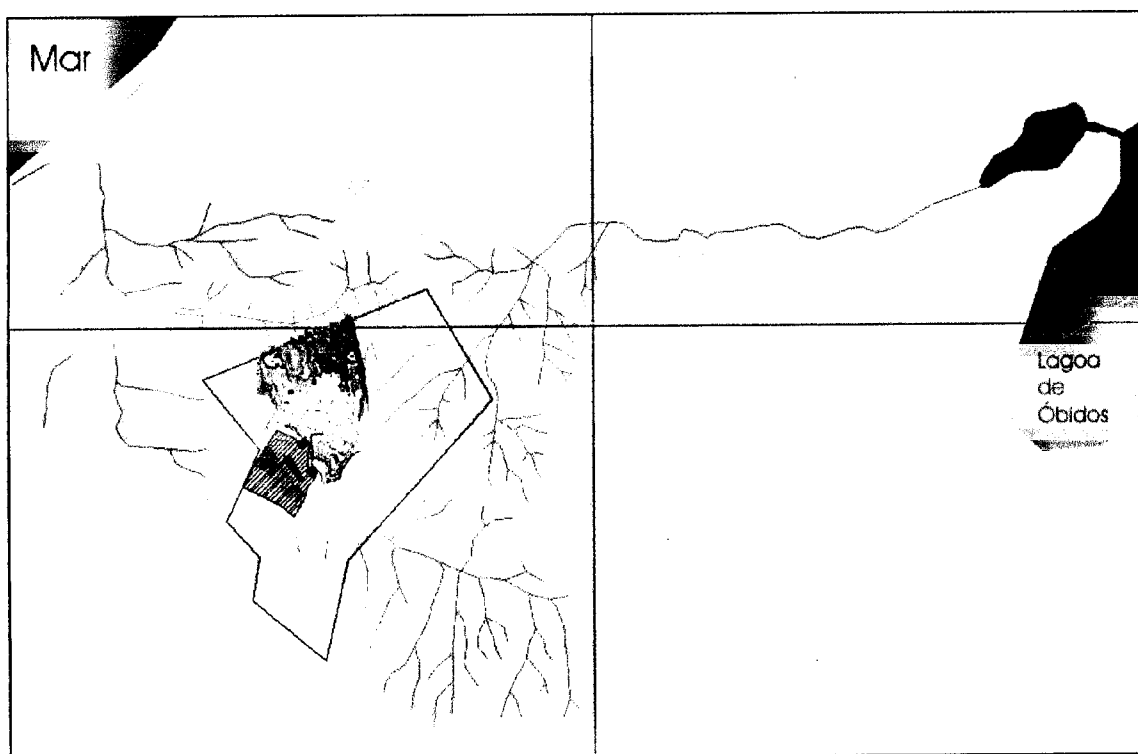


Figura 61 – Mapa simplificado do enquadramento da exploração de Casal dos Braçais, no meio hídrico envolvente. De referir que a bacia hidrográfica é reduzida e deste modo os efluentes mineiros encontram-se próximos do Mar e da Lagoa de Óbidos.



Na parte Sul o vale denominado Vale da Tia, e Vale dos Casais dos Braçais, é Afluente do Vale Bem Feito que abriga os últimos largos meandros da ribeira, antes da foz. Na parte Norte as linhas de água temporárias juntam o rio de Poço Salgueiro com a Poça das Ferrarias e desaguam na Lagoa de Óbidos, na Porta de Caneiro, que é o maior ponto da hidrografia desta região, esta vasta extensão de água aparece como zona intermédia entre os sistemas fluviais e o sistema marítimo, como tanque de água salobra. Orientada a Norte 160°, de forma alongada, a lagoa é essencialmente abastecida pelos rios Rial e Arnoia a Sul. Em função da sua localização. A qualidade das águas costeiras que banham o continente é verificada pelas entidades competentes do Estado, nas zonas balneares litorais. Os critérios e normas de qualidade das águas são regulamentados por directivas comunitárias.

O depósito de Mosteiros situa-se a Este do limite da divisão das águas dos rios Alcobertas e Alcanede. Os cursos de água do lugar abastecem na sua parte a montante na margem esquerda, o rio Alcobertas cuja bacia vertente atinge uma superfície de 253.3 Km². Muitos cursos de água deste colector nascem na base do maciço calcário de Porto de Mós e são temporários (Fig. 62).

O regime hidrográfico existente é essencialmente subterrâneo na rede cársica. A circulação superficial é irregular, sem origem mas com ressurgências cujo débito é fortemente influenciado pelas variações atmosféricas e que são abastecidas por bacias fechadas e também por vezes por alguns caudais temporários que se perdem no terreno. Em geral as águas subterrâneas não formam superfícies aquíferas mas simples níveis nos calcários gretados. O maciço tem um papel muito particular. ele absorve bruscamente as precipitações atmosféricas, acumula-as e escoas-as para as suas bermas. Ele fornece as águas superficiais às regiões que cercam. Não há nenhum plano de água natural no sector. só alguns pântanos esporádicos, implantados sobre os níveis argilosos.

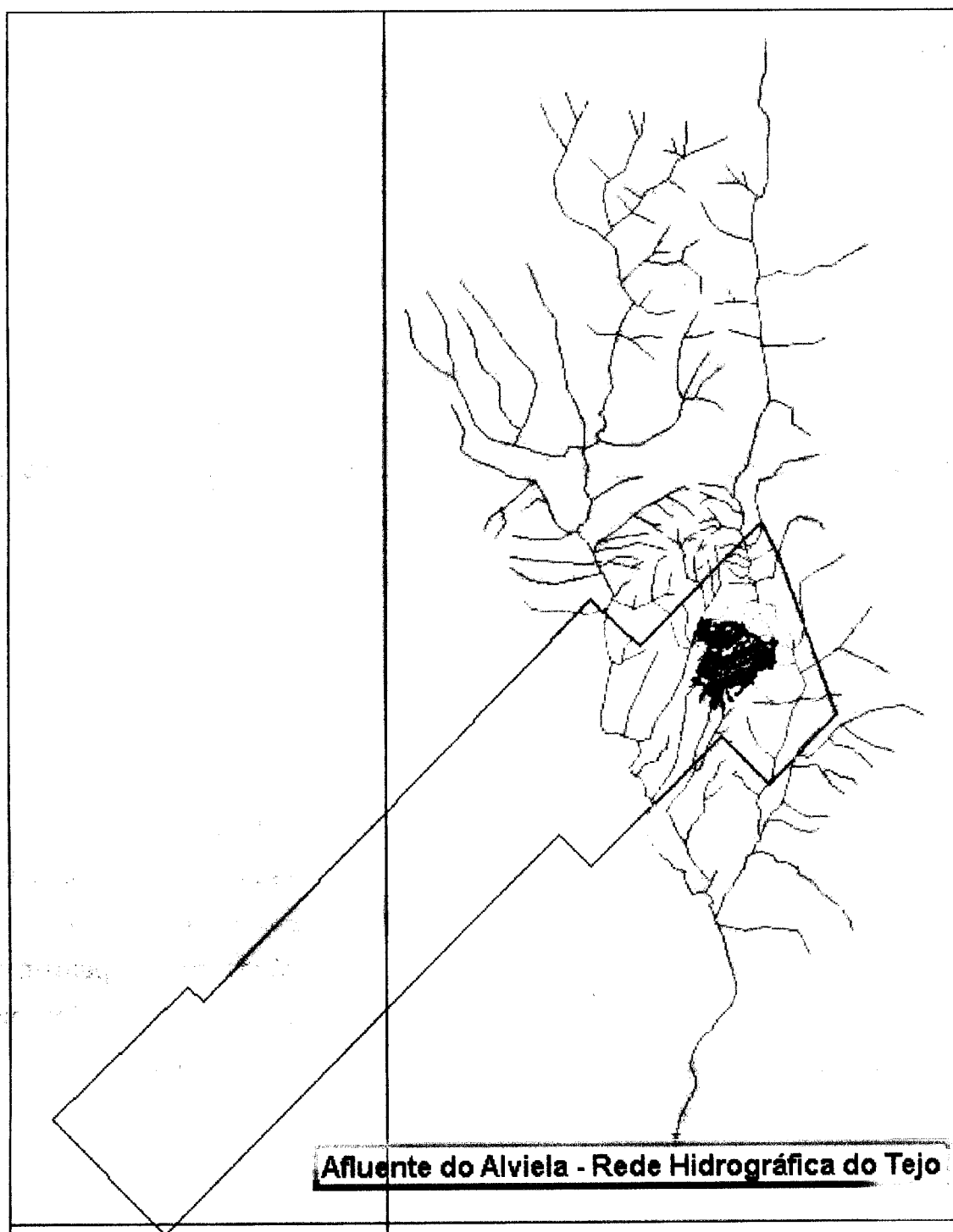


Figura 62 – Mapa simplificado do enquadramento da exploração de Mosteiros, no meio hídrico envolvente. De referir que pertence à bacia hidrográfica do Tejo.



2.1.1 -Análises químicas de Casal dos Braçais e de Mosteiros

Na Tabela 20 são apresentados os valores dos elementos traços (ppb) em amostras de água recolhida das lagoas. Em geral os elementos traços apresentam valores muito baixos sem nenhum prejuízo ambiental.

Tabela 20 – Análises químicas de elementos traço em amostras de água, µg/l (ppb)

Amostras	BA3	BA6	MA1	MA2
As	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Ba	95,330	87,803	125,705	114,806
Be	0,312	< L.D.	0,293	< L.D.
Bi	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Cd	3,018	0,282	0,076	0,053
Co	33,557	1,487	0,913	0,345
Cr	1,297	1,644	< L.D.	0,474
Cs	0,127	0,044	0,078	0,088
Cu	71,459	6,706	2,372	2,799
Ga	< L.D.	0,026	< L.D.	0,025
Ge	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Hf	0,001	0,004	< L.D.	< L.D.
In	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Mo	< L.D.	0,347	< L.D.	0,100
Nb	< L.D.	0,008	< L.D.	0,004
Ni	31,117	2,357	1,138	0,553
Pb total	0,140	0,069	< L.D.	< L.D.
Rb	3,784	2,308	2,905	5,336
Sb	0,063	0,087	< L.D.	0,088
Sn	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sr	26,645	29,424	3,676	27,430
Ta	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Th	0,022	0,024	< L.D.	0,004
U	0,277	0,110	0,003	0,124
V	0,489	0,980	0,150	0,265
W	0,016	0,046	0,028	0,030
Y	0,136	0,291	0,005	0,050
Zn	30,306	3,786	4,559	13,900
Zr	< L.D.	0,175	< L.D.	< L.D.
Mn	0,0126	0,0006	0,0011	0,0003
Al	0,010	0,061	0,020	0,035

As análises de Terras Raras das águas (Tab. 21) recolhidas dos dois depósitos de caulino foram normalizadas utilizando a mesma norma condritica australiana. Os dados normalizados foram comparados com os dados obtidos para as fracções de caulino de <45 µm. Como já é possível de observar na Figura 63, ocorrem uma anomalia positiva da Európio em todas amostras de águas analisadas. Estes resultados obtidos confirmam uma transferência dos elementos químicos das rochas para as águas.

Tabela 21 – Análises químicas de Terras Raras em amostras de água, valores em µg/l (ppb).

	BA3	BA6	MA1	MA2
Ce	0,038	0,176	< L.D.	0,057
Dy	0,022	0,051	< L.D.	< L.D.
Er	0,012	0,024	< L.D.	< L.D.
Eu	0,020	0,026	0,019	0,022
Gd	0,014	0,058	< L.D.	0,012
Ho	0,004	0,009	< L.D.	< L.D.
La	0,028	0,100	0,015	0,036
Lu	0,002	0,003	< L.D.	< L.D.
Nd	0,053	0,171	0,015	0,033
Pr	0,009	0,031	< L.D.	0,008
Sm	0,013	0,048	< L.D.	0,011
Tb	0,003	0,008	< L.D.	< L.D.
Tm	0,002	0,003	< L.D.	< L.D.
Yb	0,014	0,018	< L.D.	< L.D.

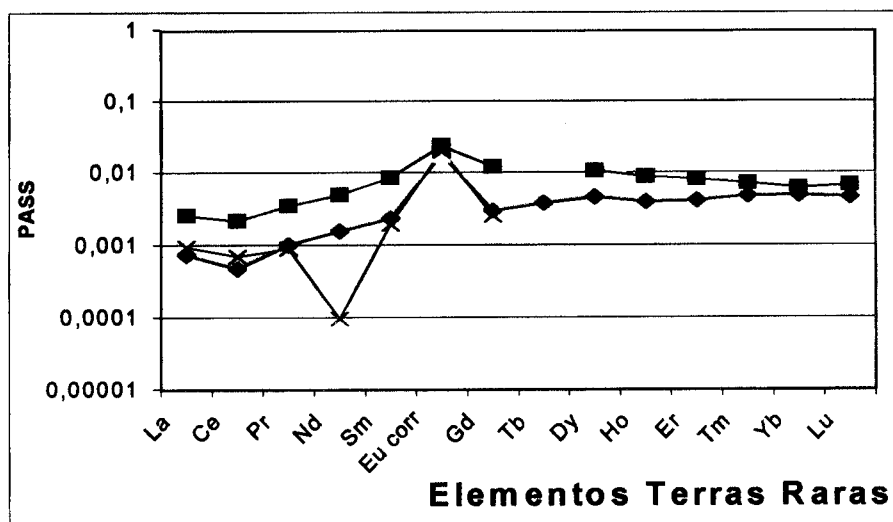


Figura 63 – Normalização condritica de REE's em amostras de água (PASS).



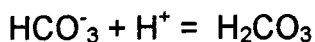
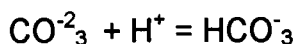
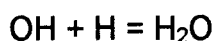
2.1.2 -Acidificação das águas

O valor de pH de uma solução constitui uma medida da concentração de hidrogeniões, definida como o logaritmo negativo da concentração de hidrogeniões:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+).$$

A água absolutamente pura está fracamente dissociada e os iões H^+ e OH^- estão presentes em concentrações idênticas, ou seja é neutra na sua reacção. Se a concentração em H^+ é superior à da água pura, a solução diz-se ácida, se é inferior diz-se alcalina. Na natureza, a maioria dos valores de pH observados situa-se entre 4 e 9, dependendo de factores como a origem da água, da natureza geológica do leito e o revestimento vegetal da bacia. Os valores mais baixos de pH (inferior a 0), encontrados na natureza verificaram-se em soluções em contacto com sulfuretos oxidados.

Em águas superficiais a alcalinidade depende dos constituintes que estão relacionados com o teor de CO_2 e com a mineralização da água, isto é de bicarbonatos, carbonatos e iões hidroxilos:



Em águas superficiais a acidez procura apurar a concentração total de ácidos presentes na amostra e mede-se pela capacidade da solução para consumir iões hidroxilos ou seja pela capacidade de neutralização de uma base forte.

Os feldspatos, micas ou outros silicatos podem ser alteradas em condições supergénicas fortemente ácidos, constituindo as fontes primárias de alumínio e sílica em drenagem ácida das rochas. Os soluções resultados são acidas com uma concentração elevada em H_4SiO_4 e $\text{Al}(\text{OH})_4$.

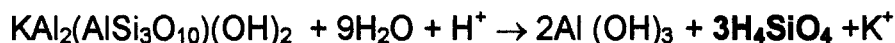


As reacções mineralógicas que decorrem numa ambiente de meteorização são:



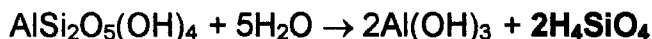
K-feldspar

sericite



sericite

gibbsite



kaolinite

gibbsite

O resultado destas reacções mineralógicas é um ácido silícico, H_4SiO_4 , que contribuem numa maneira negativa ao processo de acidificação das águas (Bobos et al., 2000).

2.2 - Ar

Existem diversos poluentes atmosféricos e de todos, são cinco os que fazem parte do cálculo do índice de qualidade do ar, descrito na lei portuguesa e que são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto (NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o ozono (O_3) e finalmente as partículas finas ou inaláveis, poeiras (Dias, 2002)

Embora no caso de uma exploração de caulino o problema maior sejam as partículas finas, os outros poluentes também devem ser referidos na questão ambiental visto que também fazem parte da definição do ponto de referência para a avaliação de impactes.

De uma maneira geral, são várias as consequências possíveis resultantes de emissão de poeiras de entre as quais destacam-se a incidência na saúde das pessoas a trabalhar no local, má visibilidade para os condutores de máquinas e veículos, aumento da quantidade de matéria em suspensão na água corrente, acumulação das poeiras na vegetação dos terrenos circundantes e o prejuízo para a vizinhança com a deposição de poeiras nos bens pessoais e nos terrenos de cultivo (Foto. 34). A poeira que se deposita nos vegetais põe em risco o seu crescimento, uma vez que perturba a fotossíntese, esse risco limita-se à área da mina a céu aberto.



2.2.1 -Poeiras

As partículas são definidas como poluentes do tipo primário, sendo emitidos directamente pela fonte para a atmosfera e são definidos na generalidade como, materiais sólidos pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapores condensados no ar e encontram-se referenciadas como fontes, o sector agrícola, a construção, o tráfego e o sector industrial onde encontramos a exploração mineira com um lugar de destaque como fonte de poeiras e partículas.

Consideradas dos principais poluentes em termos de efeitos na saúde humana, particularmente as partículas de menor dimensão que são inaláveis, penetrando no sistema respiratório e danificando-o. Têm-se caracterizado por serem, pretensamente, responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias (como o aumento da incidência de bronquite asmática), podem ser responsáveis pela diminuição da troca gasosa em espécies vegetais, nomeadamente através do bloqueamento de estomas e danificam igualmente o património construído (Instituto do Ambiente, 2003).

O empoeiramento natural faz-se apenas com os ventos violentos, que na região estudada são frequentes durante o Verão, ventos térmicos, encontrando-se como única solução a aspersão das frentes para impedir a difusão de poeiras.

A emissão de poeiras tem como origem a extracção e o carregamento do minério da mina e sobretudo o tráfego de camiões em direcção à unidade de tratamento (Foto. 27). As vias utilizadas pelos camiões até à fábrica podem dar origem a poeiras na estação seca e a lama em períodos húmidos. Essas poeiras depositam-se nos vegetais, estratos herbáceos e arbustos, numa extensão de cerca de 20 metros nas orlas do caminho (Foto. 29). A manutenção regular dessas vias é a medida mais eficaz para limitar as poeiras e assegurar uma melhor segurança.

As poeiras em suspensão no ar podem ter repercussões para a saúde dos trabalhadores, essas doenças são nomeadamente as pneumoconioses, sendo a mais frequente a silicose. A possibilidade de risco de silicose para o pessoal exposto regularmente é muito reduzida na fábrica e na mina. É mesmo nula para a população.

Na fábrica todas as operações se efectuam por via húmida o que minimiza os riscos associados à formação e dispersão das poeiras no meio ambiente. Os transportadores fixos são o local onde se poderá colocar o problema das poeiras, encontram-se num edifício fechado. No interior do edificio do secador existe uma considerável difusão de poeiras caulínicas muito finas, dispersadas a nível dos transportadores de evacuação do caulino seco. A canalização dessas poeiras, permitindo uma evacuação fácil, e uma limpeza regular são indispensáveis neste local para assegurar a saúde do pessoal envolvido (Foto. 35).



Fotografia 34 – Interior das instalações de tratamento do caulino.

A Criação de écrans vegetais e a conservação à volta das instalações de tratamento do caulino, de árvores altas, pinheiros e eucaliptos, vai contribuir para limitar a dispersão de poeiras em período seco.

2.3 - Solos

As modificações ao uso actual do solo constituem geralmente, o impacte mais directo e primário. São resultantes das acções de desmatção e preparação do terreno, associados à actividade industrial em causa. A alteração e substituição do uso do solo, na área de exploração é total e imediata. E também nos solos, as poeiras podem contribuir para impactes negativos, no caso de impedir a respiração do solo e da vegetação que o cobre (Foto. 34).



Fotografia 35 – Aspecto de plantação prejudicada pelas poeiras.

As cartas de capacidade de utilização dos solos da região mostram que os melhores terrenos (capacidades de utilização de primeira categoria A e B) se situam na planície aluvionar do Tejo,



A pedologia na área de Mosteiros resume-se essencialmente a terrenos calcários onde os solos são pouco consolidados e relativamente ácidos apesar de sua localização ao pé de um maciço calcário, arejados eles permitem que a água circule livremente. Nas proximidades do depósito, os terrenos dividem-se nas categorias, aluviões e coluviões nas zonas baixas, logo materiais directamente resultantes de erosão e transportados pelas águas, e terrenos mediterrâneos cercando as zonas baixas referidas, terrenos um pouco mais evoluídos. A superfície da concessão de Mosteiros abrange essencialmente terrenos medíocres, em relação à capacidade de utilização dos solos, classe E e D, que significa uma impossível utilização agrícola devido principalmente a uma importante erosão superficial.

2.3.1 -Pó e soluções coloidais

Os "sóis" são pseudosoluções coloidais. Tendo em conta o estado de agregação da fase dispersa e o meio de dispersão, podemos encontrar os liossóis (partículas dispersas em meio líquido), os aerossóis (partículas dispersas em meio gasoso) os cristalossóis (partículas dispersas em substâncias cristalinas) vitreossóis (partículas dispersas em substâncias vítreas) e pirossóis (partículas dispersas em substâncias fundidas). O tamanho das partículas pode variar de 0.001 a 100 μm (a média é 1 μm), e do ponto de vista da composição química são caracterizados através de uma grande variedade de distribuição de partículas. Estas partículas podem ser responsáveis pelo transporte e pela deposição dessas partículas a maiores distancias.

Ao considerar a natureza e o tamanho das partículas de uma dessas pseudosoluções coloidais temos as poeiras, pó ou fumos (diâmetro $>1 \mu\text{m}$). O ferro, o alumínio, o magnésio e o crómio podem ser identificados em partículas destas dimensões enquanto que o cádmio, o chumbo, o zinco e o estanho ocorrem em partículas de diâmetro inferior $<0.25 \mu\text{m}$.

Nos casos estudados não se reconhece o problema de transporte de poeiras com elementos metálicos tóxicos. Identifica-se sim a dispersão e deposição de poeiras silíceas (Foto. 29), em especial no caso de Casal dos Braçais especialmente devido à proximidade do mar e às neblinas e ventos frequentes.

3 - Avaliação de impacte ambiental

A avaliação e previsão dos impactes provocados por uma mina partem sempre de uma definição dos valores de origem, em relação aos vários temas referidos na legislação onde seguidamente são identificados os focos de impacte e sua classificação (Fig. 64).

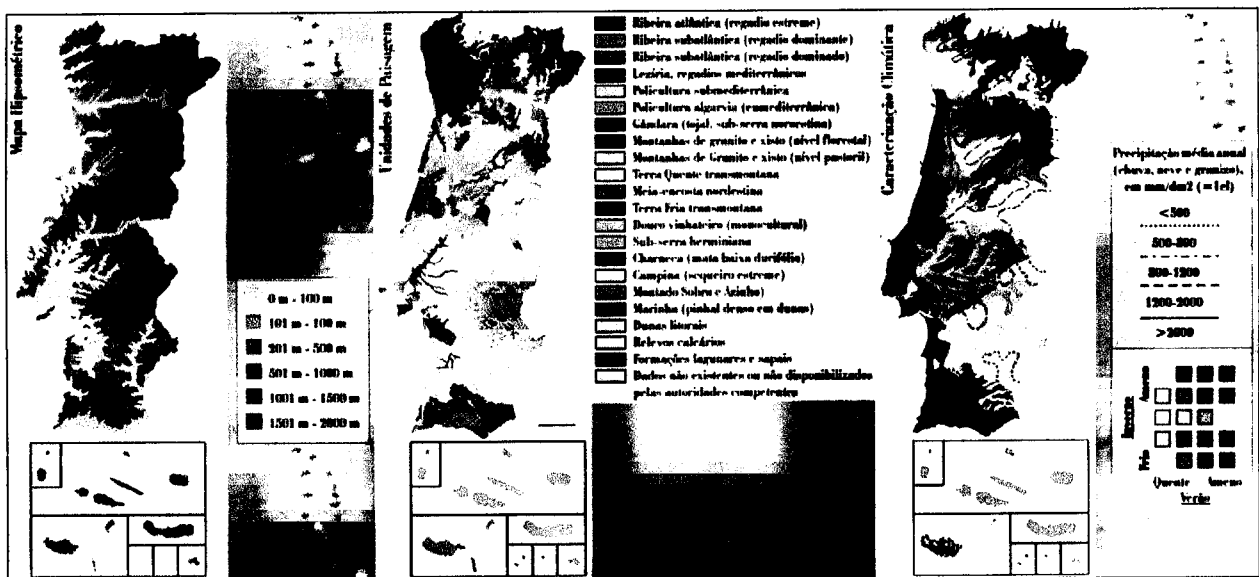


Figura 64 – Exemplos de dados que servem como situação de referência

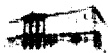
Os impactes numa mina a céu aberto são avaliados consoante o tipo de impacte, na qualidade do ar avaliam-se as concentrações de poeiras produzidas na pedreira e propagadas para o seu exterior e à avaliação de potenciais emissões gasosas. A verificação do regime de ventos, do posicionamento dos aglomerados populacionais e o confronto dos valores previstos com os valores admitidos pela legislação em vigor, permite uma avaliação do estado inicial e previsão do impacte relativo à mina. Os recursos hídricos superficiais são também afectados por uma exploração mineira devido a eventuais intersecções de linhas de água causadas pelo desenvolvimento da exploração e afectação da qualidade da água. Os recursos hídricos subterrâneos estão expostos a riscos de intersecção do nível freático e de infiltrações de poluentes. Os impactes na flora e fauna são caracterizados pela quantificação dos níveis de ruído propagados para o exterior da mina, pelo grau de afectação das linhas de água e da qualidade de água, pela afectação dos habitats na área de exploração e sua envolvente (Santos Oliveira, 1997).



Os impactes na geomorfologia e na paisagem são estudados com base em métodos analíticos da acessibilidade visual e capacidade de absorção visual da área do projecto, como a modelização 3D das áreas e respectivas alterações da morfologia do terreno visando as zonas expostas as populações e trajectos rodoviários.

O estudo dos impactes, regionais, locais, na demografia e dinâmica populacional, na estrutura urbana e equipamentos, na economia regional e local, é baseado em estudos estatísticos, fundamentados em consultas às entidades regionais, locais e à população bem como, em alguns casos, ao arquivos históricos da região. Estes dados iniciais servem como pontos de referência para a alteração provocada pela actividade mineira, nomeadamente os impactes na rede viária avaliados com base na quantificação do tráfego médio diário de veículos pesados oriundos e em direcção à mina e na verificação dos trajectos mais usados pelos veículos pesados, atendendo às suas características construtivas e disposição relativamente a povoações, bem como melhoramentos e construções de novos acessos que serviram como pontos de impacte positivo na avaliação ambiental, os impactes no património arqueológico e arquitectónico são considerados em relação à distância que os imóveis se encontram da mina e ao avanço da exploração podendo ser considerados como condicionantes da exploração (Vanclay, 1995).

O descritor sociológico, no caso de um projecto mineiro a instalar numa área impoluta, é onde encontramos os cerca de 5% de impactes positivos onde se encontram os postos de trabalho e o melhoramento ou construção de novas vias de comunicação, visto que num projecto deste tipo são considerados cerca de 95% de impactes negativos ao contrario de uma região já explorada onde surgem novos projectos ou ampliações, onde a razão Impactes positivos/negativos é de 60/40% (Dias, 2002).



O Estado define a riqueza geológica e o eventual valor económico de um determinado material, num determinado local e numa determinada altura. O Estado é o maior interessado na defesa dos interesses económicos do país. Por outro lado o Estado impõem as regras ambientais que podem condicionar um projecto mineiro, regras que não devem ser desrespeitadas de modo a permitir um equilíbrio ambiental. Também o Estado o maior interessado na defesa do ambiente. Assim, pode-se encarar a situação como óptima visto que é mais simples encontrar um equilíbrio entre ambas as partes, geologia e ambiente, de um mesmo corpo. Se a determinada altura uma das partes do mesmo corpo tiver mais força, o equilíbrio vai ser perdido, ou as explorações mineiras serão descontroladas ou as condicionantes ambientais serão proibitivas, nenhuma das situações é favorável à sociedade impedindo a manutenção do equilíbrio ambiental e impedindo o crescimento económico.

Só com uma postura equilibrada nas decisões e uma fiscalização eficiente é que se torna possível a exploração sem cair na protecção por bloqueio.

4 - Medidas de Minimização de Impactes

O facto de uma exploração mineira provocar impactes negativos num determinado descritor ambiental não é, nem deve nunca ser motivo para impedir a exploração de um recurso geológico. Para tal é necessário proceder de forma equilibrada e cuidada sem cair na super protecção ambiental e minimizando todos os impactes negativos.

Proceder a uma desmatção faseada das zonas a explorar, bem como proceder à execução do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagista, nas zonas em que a exploração já cessou. São duas práticas de execução simples, que podem ajudar a mitigar este problema. A execução do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagista, irá mitigar quaisquer problemas de alterações climáticas que possam ter surgido durante a exploração da pedreira, uma vez que serão recuperadas as condições naturais que existiam antes do arranque da exploração. Além disso, no plano de recuperação paisagística está também prevista uma remodelação do terreno explorado, para que este volte a recuperar a morfologia o mais natural possível. Logo, uma implementação adequada desta recuperação irá minimizar todos os possíveis impactes a nível de clima, originados por este tipo de exploração.

Para a minimização dos impactes geológicos e geomorfológicos, deve ser dada especial importância ao cumprimento do estipulado no plano de lavra, uma vez que desta forma é possível proceder-se à exploração de uma forma ordenada e mais eficiente. O planeamento cuidado da exploração permitirá reduzir as percentagens de rejeitados, trazendo desta forma benefícios económicos e ambientais, uma vez que os volumes de escombrelas seriam minimizados. Uma acção complementar passa por um reaproveitamento das massas minerais depositadas em escombrelas, que embora não possuam valor para a produção, podem servir de fonte de matéria-prima para a construção. Mais uma vez a aplicação do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagista é um processo importante para minimizar os danos infligidos à morfologia da área afectada, uma vez que este permite uma modelação adequada da forma do local, aproximando a zona afectada, à zona envolvente e à morfologia natural do local.



Com vista à posterior utilização dos solos existentes no local, os volumes originados pela decapagem devem ser devidamente armazenados em pargas, convenientemente revestidas por vegetação, de forma a minimizar os processos erosivos a que estas estão sujeitas. Também de modo a minimizar os processos erosivos na área intervencionada, todas as áreas já desocupadas que contenham solo nu, deverão ser plantadas de modo a permitir o desenvolvimento de cobertura vegetal. Outra preocupação a ter em conta, tem a ver com a inclinação dos taludes, que deverá ser baixa, de modo a não permitir velocidades de escorrência das águas elevadas. Para a minimização da compactação dos solos, deve-se garantir que a maquinaria pesada apenas circulará na área de intervenção e nos acessos planeados. Os impactes por contaminação dos solos, também devem ser tidos em conta e para a sua efectiva minimização, deverão ser criadas zonas para o armazenamento de sucatas e também zonas impermeabilizadas para a manutenção e abastecimento das viaturas, minimizando-se desta forma os derrames de hidrocarbonetos.

As medidas de minimização dos impactes na paisagem passam essencialmente por uma correcta implementação das medidas preventivas e minimizadoras, inerentes aos recursos hídricos, meios bióticos, ar e solos. A minimização dos impactes nestes descritores minimizará igualmente os impactes causados na paisagem. Este é um dos descritores, em que uma exploração ponderada é muitas vezes o que basta, para que os impactes sejam mitigados. Desta forma, não deve ser destruída a vegetação natural nas zonas não afectadas e devem ser utilizados os acessos já existentes. Além destes, deve ser plantada uma cortina arbórea no perímetro do empreendimento, que deverá ser constituída por árvores de grande porte e de folha persistente. Os equipamentos de apoio devem ser construídos em materiais que se enquadrem com a paisagem envolvente (Yang, 2000).



As escombreyras que se formam junto das explorações, estas podem ser minimizadas por reaproveitamento. Mas a principal acção para minimizar os impactes provocados na paisagem, reside na implementação do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagista uma vez que a correcta implementação do plano permite recuperar as condições prévias do terreno e reenquadrá-lo com a paisagem envolvente. Esta recuperação, sempre que possível deverá ser implementada ainda durante a fase de exploração do empreendimento, em zonas já desimpedidas, (Brodtkom, 2000).

No que toca ao descritor água, são vários os procedimentos passíveis de reduzir os danos ambientais das explorações, de entre essa vasta lista, podem-se destacar as alterações na qualidade das águas de modo a evitar-se a contaminação por orgânicos, provenientes das estruturas sanitárias de apoio, estas devem estar dotadas de fossas sépticas bem dimensionadas e sujeitas a limpezas e manutenções regulares, possuir um armazenamento correcto e manutenções dos equipamentos da pedreira, realizadas em zonas devidamente impermeabilizadas, com uma correcta recolha e reciclagem dos óleos, serão as medidas, que podem ser postas em prática com vista à manutenção da qualidade das águas da região. Na prevenção da entrada de sólidos nas águas, as principais medidas a serem implementadas, passam pela criação de uma correcta rede de drenagem em toda a zona intervencionada, que conduza as águas captadas a uma bacia de decantação, que permita diminuir o teor em sólidos. A criação de um revestimento vegetal nas zonas descobertas, permitirá também reduzir a erosão hídrica. Quanto às águas originadas no processo produtivo, deverão ser reutilizadas em circuito fechado, permitindo desta forma menores consumos e inexistência de descargas na rede de drenagem natural (Morris, 1995 e Dias, 2002).



As Alterações na rede de drenagem superficial são de difícil, se não impossível minimização, uma vez que as modificações na morfologia do terreno são inerentes à existência de uma pedreira. Os principais problemas surgem, quando se interceptam linhas de água que possam ter caudais significativos. Caso tal suceda, devem estar previstos em fase de projecto, desvios hidráulicos para essas águas, de modo a manter as condições de drenagem da região. Quanto às alterações devido a assoreamentos a jusante, estas só poderão ser evitadas através das medidas respeitantes à qualidade das águas, uma vez que se estas águas transportarem menos sólidos provocarão menores assoreamentos. A arborização de zonas de deposição de rejeitados, bem como a manutenção da vegetação original nas zonas que não estejam sujeitas a intervenção, permitirá a criação ou manutenção de zonas de grande infiltração. Com vista à diminuição da compactação dos solos, deve ser dada preferência à utilização de caminhos já existentes, restringindo desta forma a área sujeita à circulação de viaturas.

A Intersecção do nível freático caso seja possível, a exploração de maciço mineral deve ser feita acima do nível freático, reduzindo não só os impactes ambientais da exploração, bem como os custos associados à mesma. Uma vez que em grande parte dos casos, tal tipo de exploração é inviável, porque a mesma exigiria grandes áreas, ou o mineral de interesse situa-se abaixo deste nível, são sugeridas algumas medidas, que permitem minimizar os impactes decorrentes desta situação.

A principal medida a ser tomada, tem a ver com um correcto planeamento prévio, passando por uma aquisição de informação hidrológica de qualidade. Desta forma é possível desde logo garantir a considerável economia de custos, a minimização de impactes negativos, redução do risco e aumento da segurança e melhor rentabilidade produtiva.

Todas as águas captadas desta forma deviam estar sujeitas a aproveitamento, que poderia passar por utilização doméstica ou agrícola, uma vez que as explorações funcionam como grandes poços, com uma produção regular de água, que continua a ser desaproveitada. Caso o aproveitamento fosse inviável essa água devia ser conduzida para a recarga do aquífero afectado, numa zona em que não interferisse com os trabalhos.



A melhor solução para obstar os impactes provocados na qualidade do ar é, sem dúvida, a redução do número de fontes emissoras de poeiras ou a sua intensidade. Na maioria dos casos, isto não é viável, portanto há que tentar reduzir os efeitos captando o maior número possível de partículas sólidas emitidas pelas fontes emissoras. O controlo de poeiras poluentes pode efectuar-se por via húmida ou seca.

Na circulação de viaturas, o método mais eficaz para a minimização das emissões de poeiras pela circulação de viaturas é a asfaltagem dos caminhos, no entanto normalmente as vias de comunicação interiores às explorações não são pavimentadas, não só por motivos económicos, mas também por alterações no posicionamento das frentes de desmonte e também, porque a circulação de certas viaturas pesadas, iria provocar a destruição de qualquer pavimentação efectuada. Além da pavimentação, estudos empíricos revelam que a velocidade dos veículos, o seu peso e o número de rodados são factores que influem nas quantidades de partículas emitidas. Desta forma, uma medida mitigadora possível passaria por estipular velocidades máximas de circulação das viaturas de forma a minimizar estas emissões. O método de minimização que apresenta melhores resultados em caminhos não asfaltados, é a rega contínua, efectuada quer por camiões tanque quer por aspersores fixos, colocados ao longo das vias. A combinação destes dois métodos apresenta melhores resultados, uma vez que os aspersores são mais vantajosos a nível económico, sendo complementados pelos camiões tanque, em zonas em que este sistema não esteja implementado. Para melhor rendimento destas regas, pode adicionar-se à água substâncias químicas, como certos compostos poliméricos de baixo peso molecular, que têm dupla acção: asseguram uma mais baixa taxa de evaporação da água e aglomeram o material fino, o mais prejudicial (Hinds, 1999).



As instalações de tratamento são uma importante fonte de emissões de partículas, mas uma das quais em que as medidas de minimização podem ser eficazes. Nestas instalações, as principais fontes poluidoras, são as máquinas de tratamento de minério, os crivos e as zonas de carga e descarga nas telas transportadoras e nas torvas de armazenamento. Quando é possível, pode-se efectuar o controle de poeiras por via húmida, nomeadamente através da aspersão de água junto dos focos emissores mais críticos da instalação de britagem. Quando a via húmida é inviável, terá de ser feita a captação de poeiras através de turbinas de sucção. Para esse efeito, deverá ser efectuado o revestimento da maquinaria a controlar, sendo tratada a atmosfera no interior dessa instalação. As partículas captadas são lançadas em contra corrente em torres cilíndricas onde, no seu interior, existem tubos furados com injeção de água.

A minimização das emissões de poeira nas frentes de lavra não é possível uma vez que estas zonas estão em constante alteração sendo por isso impossível implementar qualquer tipo de medidas. Quanto às pilhas de estéril a situação não é a mesma, neste caso existem medidas possíveis, tais como a vegetação dessas pilhas, ou quando tal se revela impossível, poderá proceder-se à cobertura com um revestimento plástico ou com uma película superficial, tais como cal ou resina.

O ruído pode ter diferentes magnitudes consoante a configuração da exploração, em casos de exploração em profundidade, esta origem de ruído pode ser negligenciável, dado o efeito barreira obtido desta forma (Fahy, 1998). Uma medida que permite obter reduções de ruído proveniente da maquinaria pesada, consiste na aplicação de silenciadores e atenuadores sonoros, nos equipamentos mais ruidosos, bem como a substituição dos motores de arranque, por modelos silenciosos, uma vez que o arranque da maquinaria é uma das fases críticas do processo. Uma vez que maiores velocidades de circulação originam maiores emissões sonoras, deve ser estipulada uma velocidade máxima de circulação, para evitar os picos de emissão. Em zonas particularmente sensíveis, podem ser utilizadas soluções alternativas às sirenes de aviso de marcha-atrás das viaturas,. Outra solução que pode ser utilizada, nas explorações para minimizar o ruído do transporte dos materiais dentro da mesma, consiste na utilização de um sistema de britador primário móvel, que possa operar junto às frentes de desmonte, fazendo-se o transporte do material já com uma primeira fragmentação por correias transportadoras, até aos britadores secundários.



A principal medida que poderá ser implementada no que toca á actividade de expedição dos produtos, passa por uma correcta sensibilização e formação dos condutores dos camiões, no sentido de uma condução lenta dentro das localidades e sempre que possível, evitar a passagem no interior destas, outra hipótese, passa pela expedição dos materiais recorrendo a processos alternativos, essencialmente a via férrea.

Para a actividade industrial que se desenrola paralelamente à extracção do maciço, as medidas mitigadoras passam por uma manutenção cuidada destes equipamentos, e também por um revestimento com material insonorizante. Medidas de âmbito geral devem igualmente ser implementadas, tais com o fornecimento de material de protecção auricular aos trabalhadores sujeitos a níveis de exposição mais intensos, o não funcionamento da exploração durante o período nocturno, bem como a implementação de um correcto sistema de monitorização de ruído, de forma a permitir a correcção atempada de alterações que possam ocorrer, bem como proporcionar uma melhoria contínua do empreendimento (Miguel, 2002).

A metodologia recomendada neste tipo de análise impõe um critério de retroanálise, de forma a serem determinados os valores das constantes empíricas para o maciço em causa, em função da melhor correlação possível. Uma vez realizadas as primeiras vibrações, é possível, com base em leituras de sismógrafos, estabelecer correlações que levem à determinação das constantes de estabilidade para o tipo de maciço em causa. Este procedimento deve ser repetido sempre que as características do maciço se alterem, de forma a calibrar as constantes referidas de acordo com o terreno envolvido. Conhecida a amplitude da velocidade de partícula pode-se prever as circunstâncias de perigo para a estabilidade de estruturas vizinhas, através da utilização de relações empíricas entre a grandeza das vibrações e os danos físicos que elas podem provocar. A correlação entre amplitudes de vibração e os danos causados em edifícios e instalações vizinhas é usualmente feita por meio de dados experimentais tirados de numerosos exemplos conhecidos (Fahy, 1998).

Depois de analisadas as circunstâncias que provocaram os prejuízos, atribuí-se a um grau de importância, por exemplo, em termos de segurança, precaução, perigo e colapso, e quantificando as vibrações por meio de um parâmetro apropriado, estabelecem-se os critérios de dano estrutural.



Uma correcta implementação das medidas de mitigação de impactes para os parâmetros ambientais paisagem, qualidade do ar, ruído e água vão originar diminuições que podem ser significativas no que toca aos impactes causados no descritor, aspectos biológicos. Estas medidas de carácter mais geral são muito importantes, no entanto deverão ser complementadas por outras de carácter mais específico como, trabalhos de preparação dos terrenos para a extracção deverão respeitar épocas de nidificação e reprodução, devendo ser acompanhadas de uma monitorização das espécies, evitando a formação de áreas isoladas sem corredores de fuga, principalmente para animais de locomoção lenta como por exemplo os répteis, fasear as fases de desmatção dos terrenos de forma a permitir uma adaptação gradual da fauna às novas condições impostas, recolha de espécies vegetais de maior valor ecológico das zonas de desmatção, para posterior replantação em zonas não afectadas, circunscrever a circulação de maquinaria pesada à área intervencionada, Interditar o funcionamento nocturno, de modo a evitar-se os danos impostos à fauna nocturna e a Implementação gradual do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística nas zonas já des afectadas pela exploração.

Uma vez que os trabalhos de uma exploração a céu aberto, especialmente na sua fase inicial, podem contribuir decisivamente para a detecção de vestígios arqueológicos, é importante o acompanhamento por um arqueólogo, nas fases de instalação e exploração da actividade extractiva, em particular nos trabalhos de desmatção e decapagem. Este acompanhamento deverá ser complementado por formação aos trabalhadores acerca da história da região e das medidas de emergência a tomar para a protecção das descobertas arqueológicas. Quando se verifica uma descoberta deste tipo, as autoridades competentes deverão ser informadas, cabendo a estas, a decisão acerca das acções a ser aplicadas. O sucesso da aplicação destas medidas poderá ser aferido pelos resultados obtidos. A não detecção de vestígios arqueológicos durante a exploração, conclui-se pela existência de um impacte nulo, a detecção atempada de vestígios de ocupação arqueológica e a sua preservação para desenvolvimento de estudos especializados, traduzindo-se num impacte positivo muito significativo, a destruição de vestígios arqueológicos, correspondendo a um impacte negativo muito significativo.



O aumento do tráfego da região obriga a medidas como a manutenção dos veículos e da maquinaria de modo a manter os níveis de ruído baixos, evitar a passagem pelo interior das localidades, sempre que possível, procurar fomentar a expedição dos produtos por meios alternativos, nomeadamente via-férrea, a instalação de um sistema de lavagem dos rodados, de modo a evitar a acumulação de sujidade nas vias públicas, estabelecer acordos com as entidades responsáveis pela manutenção das vias de circulação, de modo a contribuir para a manutenção e reparação das vias mais utilizadas.

A criação de um novo complexo industrial leva á aplicação de medidas potenciadoras e não mitigadoras, uma vez que esta acção do projecto provoca impactes positivos e não negativos. Desta forma, as principais acções potenciadoras para a sócio-economia da região que podem ser tomadas são as seguintes, usar preferencialmente como fonte de mão de obra as populações locais, desta forma, os impactes positivos inerentes à criação de mão de obra far-se-ão sentir de forma mais marcada a nível local, o cumprimento rígido da legislação laboral, principalmente na área da higiene e segurança no trabalho, dando à empresa uma conotação regional favorável, bem como fornecendo aos seus colaboradores ou funcionários, um ambiente de trabalho agradável e aumentos da produtividade.

A implementação do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística apresenta impactes positivos no que toca a este descritor, desta forma as medidas recomendadas seguidamente são potenciadoras e não mitigadoras. As populações envolventes deverão ser ouvidas, tanto aquando da realização do plano como igualmente durante a sua fase de implementação, sendo garantida desta forma a satisfação das populações com os novos espaços obtidos na área da antiga exploração. Estes espaços podem passar por zonas verdes de lazer, campos de jogos, parques temáticos, etc., ou seja, estes espaços podem ser recuperados para o serviço da população.



VII - Conclusões

1 – Levantamento geológico-ambiental de toda a área investigada relacionada com os depósitos de caulino sedimentar de Casal dos Braçais e de Mosteiros, entendendo-se como levantamento, um trabalho de prospecção geológica, de caracterização mineralógica e geoquímica quer de caulinos sedimentares quer das águas.

Durante qualquer campanha de prospecção tem que existir investimento que está associado a um certo risco. Na fase inicial o risco é maior mas o investimento é seguramente menor e à medida que se avança no investimento, com resultados positivos dos trabalhos, o risco vai reduzindo até à fase operativa da exploração. Já em fase operativa um jazigo deve ser explorado de um modo equilibrado, valorizando todos os produtos, no sentido de rentabilizar uma exploração que implica custos económicos, ambientais e sociais. A crescente importância económica dos minérios industriais não metálicos, o crescimento do mercado da cerâmica em Portugal e na Europa, e as alterações nas tecnologias de produção cerâmica com um incremento na aplicação de feldspato à indústria cerâmica, provocaram uma descida na aplicação do caulino na indústria cerâmica, encontrando-se uma necessidade de alargar a aplicação deste minério e consequentemente permitir a colocação nos mercados das tintas, papel e cosméticos. Para que o caulino seja aplicado nestas indústrias, a qualidade e o tipo de material apresentado deve ser de alta qualidade, portanto devem ser aplicados processos de valorização que sejam suficientemente eficazes na preparação destes produtos.

O resultado da campanha de prospecção geológico-ambiental surgiu da aplicação de várias técnicas e métodos que resultaram de uma caracterização ambiental dos depósitos estudados. Recorrendo a método litogeoquímicos e hidroggeoquímicos foi possível caracterizar a mineralogia e o quimismo das rochas, em especial para a fracção argilosa, e relacionar os resultados a com a composição das águas presentes no depósito. Deste modo foi possível concluir que há uma transferência de elementos químicos das rochas para o meio ambiente e também foi possível detectar a presença de elementos como o chumbo (Pb) que, neste caso, resultam da actividade humana (p.e. motores de combustão) e não das rochas.



2 – Avaliação de impacte ambiental, em termos do quadro legislativo nacional gerado pelas actividades de exploração mineira dos depósitos de caulino.

Como é conhecido, a avaliação de impacte ambiental é um processo com uma grande interdisciplinaridade, envolvendo especialistas de diversas áreas. A estratégia deste trabalho foi de implementar os critérios geológicos que contribuem para um melhor entendimento do que é o impacte ambiental associado a uma exploração de massas minerais não metálicas.

Num futuro próximo vai haver a oportunidade de monitorizar estas áreas e de perceber melhor os mecanismos de acidificação das águas através de processos de dissolução dos silicatos.

Nos depósitos de caulino sedimentar de Casal dos Braçais e de Mosteiros, a indústria extractiva que funciona em torno deles provoca, impactes em vários descritores ambientais, de entre os quais se salientam como negativos os associados à paisagem, ao ar, à água e solos, no Caso de Casal dos Braçais e ao ar e à água no caso de Mosteiros. Os impactes positivos estão, nos dois casos relacionados com a criação de postos de trabalho, a contribuição para região com medidas de compensação e a contribuição para o estado com a criação de receitas e com a mobilização de capitais nacionais e investimentos estrangeiros.

Uma exploração mineira provoca impactes negativos num determinado descritor ambiental mas em contrapartida provoca impactes positivos a nível local, regional e nacional. A exploração de um recurso geológico deve ser efectuada de forma equilibrada e cuidada, sem cair na super protecção ambiental. Minimizando e monitorizando todos os impactes consegue-se um equilíbrio.



VIII -Bibliografia

- Alloway B. J. (1997) Principles of Aqueous Chemistry Pollution. Blackey Academic & Professional, 395pp.
- Almeida F. E. & Moura R. (1999) Impact shear wave generator for dynamic shallow soil characterisation - 5th Meeting Environmental and Engineering Geophysics- (Budapest, Setembro 1999).
- Antunes M., Pais J. (1992) The Neogene of Portugal. Ciências da Terra (UNL) Especial volume, pp. 13-24.
- Bailey S. W. (1980). Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on clay minerals, *American Mineralogist*; v. 65; 1-2; 1-7
- Barbosa B.P. (1983) Origem e Idade dos Caulinos Portugueses em Granitos. Boletim Vol. XXIV Lisboa 1983 – Sociedade Geológica de Portugal.
- Barbosa B.P., Nascimento C.A. (1989) Caulinos e Argilas Da Bacia de Alvarães.
- Barbosa, B., Pena dos Reis, R. (1996) - Geometrias de enchimento, sistemas deposicionais e organização estratigráfica do Pliocénico continental da Bacia Terciária do Baixo Tejo (Portugal). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, t.82: 51-86.
- Bastenaire F. (1965). Etude théorique du mode de generation des distributions granulométriques". *Revue de L'Industrie Minérale, Janvier*. 39-50.
- Binder, R.C. (1973). Fluid Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Bobos I., Gomes C. (2000). Dissolution Of K-feldspar Into Si-Al Gel And Crystalization Of Halloysite Identified In The Kaolin Deposit Of São Vicente De Pereira (Portugal). *Geologica Carpathica*, 51, 1. 19-57.
- Borges F. S. (1980). Elementos de Cristalografia. Fundação Calouste Gulbenkian. 624pp.
- Cabral J. (1995). Neotectónica em Portugal continental. Mem. do IGM nº31. 25-224pp.
-



Carlos Teixeira, J. M. Coteló Neiva (1943). Depósitos e níveis pliocénicos e quaternários dos arredores do Porto. Em colaboração com estudo dos níveis ao sul do promontório granítico de Lavadores e referência a níveis correspondentes na margem norte do Douro; cinco níveis, atribuídos às fases interglaciárias, à préglaciária e ao Pliocénico. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal III, Porto, p. 95-103.

Coteló N., Teixeira C. (1943). Depósitos e níveis pliocénicos e quaternários dos arredores do Porto. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Porto.

Cupeto, C. (1997) - Pedras Naturais a Caminho da Ecogestão. Revista "Ambiente", AIP, n.º 9, Lisboa, 24-29p.

Davis J.L., Annan A. P. (1989). Ground-Penetrating Radar For High-Resoluiton Mapping O Soi Land Rock Stratigraphy. Geophysical Prospecting, Vol 37, 531-551.

Dias J., Mendes J. (2002). Legislação Ambiental, 3ª edição. Coimbra editora. 81-386.

Fahy, F. J., Walker, J. (1998), Fundamentals of Noise and Vibration, *Spon Press*. Capítulo 5.

Fernandes Martins A. (1949). Maciço Calcário Estremenho, Coimbra. 57-136.

Ferreira A., Ferraz E., Moura R., Matias M., Rocha F. (1996). Prospecção Geofísica Com Controlo Litoestratigráfico. *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*. Vol 10, fasc. 2. 47-55.

Flemming, B.W. (2000). A Revised Textural Classification of Gravel-free Muddy Sediments on the Basis of Ternary Diagrams. *Continental Shelf Research*, 20:1125-1137.

Folk, R.L. (1966) - A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6:73-93.

Friedman, G.M. (1962) – Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31:514-529.

Galopim de Carvalho A. M. (1968). Depósitos Terciários situados na margem direita da bacia do Tejo. Contribuição para o conhecimento Geológico da Bacia Terciária do Tejo, Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Volume 15, pp. 190-211.

Gomes C. F. (1986) – Argilas – O que são e para que servem. Fundação Calouste Goulbenkian. pp. 212.



Grade J., Moura C.. (1981). Geologia, Características e Potencialidades do jazigo Sedimentar de Aguada de Cima. Publicação do Congresso 80 da Ordem dos Engenheiros. Tema 5, Comunicação 12. pp22.

Guerreiro N., Brito Pereira P. (2002). Poluição e qualidade da água. (Instituto da Água).

Hinds,W. (1999). Aerosol technology – properties, behavior and measurement of airborne particles, 2nded, Jonh Wiley & Sons.

Hinckley (1963). Variability in "crystallinity" values among the kaolin deposits of Georgia and South Carolina. *Clays and Clay Min* 2: 229-235.

Krumbein, W.C. (1936). The use of quartile measures indescribing and comparing sediments. *American Journal of Science*, 32:98-111.

Langmuir D. (1997). *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice-Hall, 600pp.

McBride M. B. (1994). *Environmental Chemestry of soils*. Oxford Univ. Press, 406 pp.

Maliszewska A., Sikorska M., Kuberska M., Kiersnowski H. (2002). Rotliegend aeolian sandstones of Western Poland in CL, SEM and EDS studies Polish Geological Institute, 4 Rakowiecka Str., 00-975 Warszawa, Poland. pp334.

Marques Moura R., Senos Matias M. (1999). Radar de Penetração (GPR: Ground Penetrating Radar) Aplicado Ao Estudo De Fracturação Em Mármore Do Anticlinal De Estremoz (Alentejo-Portugal), *Comun. Inst. Geol. E Mineiro*, tomo 86, 289-300.

Marques Moura R., Senos Matias M. (2000). Shallow Seismic Reflection Results In The Vouga Basin Region (Nortnen Portugal).

McLennan, S. M. (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements* (Lipin, B. R. and Mckay, G. H., eds.), *Reviews in Mineralogy* 21, 170–200, Mineralogical Society of America, Washington, D.C.

Miguel, Alberto S. R. (2002). *Manual de higiene e segurança do trabalho*, Porto Editora, 4^o edição.

Milsom, J. (2002) *Field geophysics* / John Milsom Chichester. John Wiley & Sons.



Moura R., Oliveira J.E., Modesto C.M., Almeida F.E., Senos Matias M. (2000). Some Examples Of The Use Of GPR In Engineering And Environment At The University Of Aveiro, Univ. Aveiro. Portugal.

Moura R.P., Moura R.M., Nave S., Marques da Silva M., Senos Matias M. (1999). Geophysical Methods In Shallow Coastal Aquifers Exploration – Ovar Dunes (NW Portugal). Univ. Aveiro.

Morris P., Therivel R. (1995). Methods of Environmental Impact Assessment, UCL Press, Oxford.

Oliveira J., Dias R. (1998). Livro guia das excursões. V Congresso nacional de Geologia – Lisboa.

Orlando (2002). GPR in Massive Rock. European Journal of Enviromental and Engeneering Geophysics, Vol. 7, 265-280.

Pena dos Reis R., Proença Cunha P., Barbosa B. Antunes M. Pais J. (1992). Mainly continental Miocene and Pliocene deposits from lower Tagus and Mondego Tertiary Basins Ciências da Terra (UNL) Número especial, pp. 37-56.

Pettijohn, F., Potter, P., Siever, R., (1973). Sand and sandstone: Berlin, Springer-Verlag, 618 p.

Reedman, J. H. (1979). Techniques In Mineral Exploration. Applied Science Publishers, LTD, London. 22-90 e 229-371.

Rey J. (1972). Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estremadura (Portugal). Laboratoire de Géologie de l'Université Paul Sabatier – Toulouse.

Santos Oliveira, J. M. (1997). Algumas reflexões com enfoque na problemática dos riscos ambientais associados à actividade mineira. Estudos, Notas e Trabalhos do IGM, Tomo 39, pp. 3-25.

Santos Pereira, J. (1944) – Formações Portuguesas com halosite, caulinite e montmorilonite. Dissertação para Doutoramento em Ciências Geológicas apresentada à Faculdade de Ciências do Porto, 124pp.

Skinner, J. (2000) Pipet and X-Ray Grain-Size Analyzers: Comparison of Methods and Basic Data. Federal Interagency Sedimentation Project, Report 00, 78p.



Stokes, G.G. (1851). On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. Trans. Cambridge Philos. Soc., 9:8-106.

Thadeu D. (1965). Carta Mineira de Portugal. Notícia explicativa, 20-23, Lisboa.

Thomas R. (2001). A Beginner's Guide to ICP-MS. Spectroscopy.

Tucker, M. E. (1988). Techniques in Sedimentology. Blackwells, Oxford, 394pp.

Vanclay, F., Bronstein, D. A. (1995). Environmental and Social Impact Assessment. Wiley, Chichester. Impact Assessment Interorganisational Committee on Guidelines and Principles. 1994. Guidelines and Principles for Social Impact Assessment, Environmental Impact Assessment Volume 12, No. 2, 107-152

Vaniman D., Bish D., Chipera S., Sarrazin P., Blake D., Collins S. (1999). Sample Preparation and Mounting Strategies for Robotic XRD/XRF Analysis. 30th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 15-29, 1999, Houston, TX, abstract no. 1431.

Velho J. Gomes C., Romariz C. (1998). Minerais e rochas industriais. Gráfica de Coimbra.

Versteeg R. (1997). An Introduction to near-surface and environmental geophysical methods and applications. SAGEEP Short Course.

Wilson, R. C. L., Hiscot R. N., Willis M. G., Gradstein F. M. (1989). The Lusitanian basin of western-central Portugal; Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. Tankard & Balkwill, Extensional tectonics and stratigraphic of northern Atlantic margins. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46, 341pp.

Yang, Y., Shi, L.; (2000). Integrating environmental impact minimization into conceptual chemical process design – a process systems engineering review; Computers & Chemical Engineering, 24, 1409-1419.

Zbyszewski G. (1940). Contributin a l'étude du litoral quaternaire au Portugal. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto.



Zbyszewski G. (1945). Noveaux éléments pour l'étude du quaternair de la vallée du Tage. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto.

Zbyszewski G., Montenegro de Andrade M. (1957). Rochas eruptivas do vale tifónico das Caldas da Rainha. 4ª sec do XXIII congresso Luso-Espanhol – Coimbra.

Relatórios não publicados

Direcção-Geral de Geologia e Minas (1990). Recursos geológicos – Legislação.

SAGA (1995). Estudo de Impacte Ambiental da Mina C 19 – Casal dos Braçais.

SAGA (1993). Estudo de Impacte Ambiental da Mina C 3 – Mosteiros.

Internet

IGM (2002). *Indústria Extractiva - Região de Lisboa e Vale do Tejo. Versão Online* no site do IGM. http://www.igm.pt/edicoes_online/inf_estatistica/ltv

Instituto do Ambiente (2002)

Instituto de Meteorologia (2002). <http://www.meteo.pt>

Ortofotos de Portugal, SNIG. <http://ortos.igeo.pt/ortofotos>

Técnicas e métodos utilizados para o estudo de minerais argilosos e argilas <http://www.fa.utl.pt/materiais/ceramicos>



Anexos

I – Mapas geológicos

Anexo 1 – Geologia da Estremadura (Escala 1:100.000)

Anexo 2 – Geologia de Mosteiros (Escala 1:25.000)

Anexo 3 – Geologia de Casal dos Braçais (Escala 1:25.000)

Anexo 4 – Hidrografia da área de Casal dos Braçais (Escala 1:10.000)

Anexo 5 – Hidrografia da área de Mosteiros (Escala 1:10.000)

Anexo 6 – Localização dos povoados em relação às explorações (Escala 1:25.000)

II – Fotografias

Anexo 7 – Glossário de imagens de MEV obtidos para o caulino de Casal dos Braçais

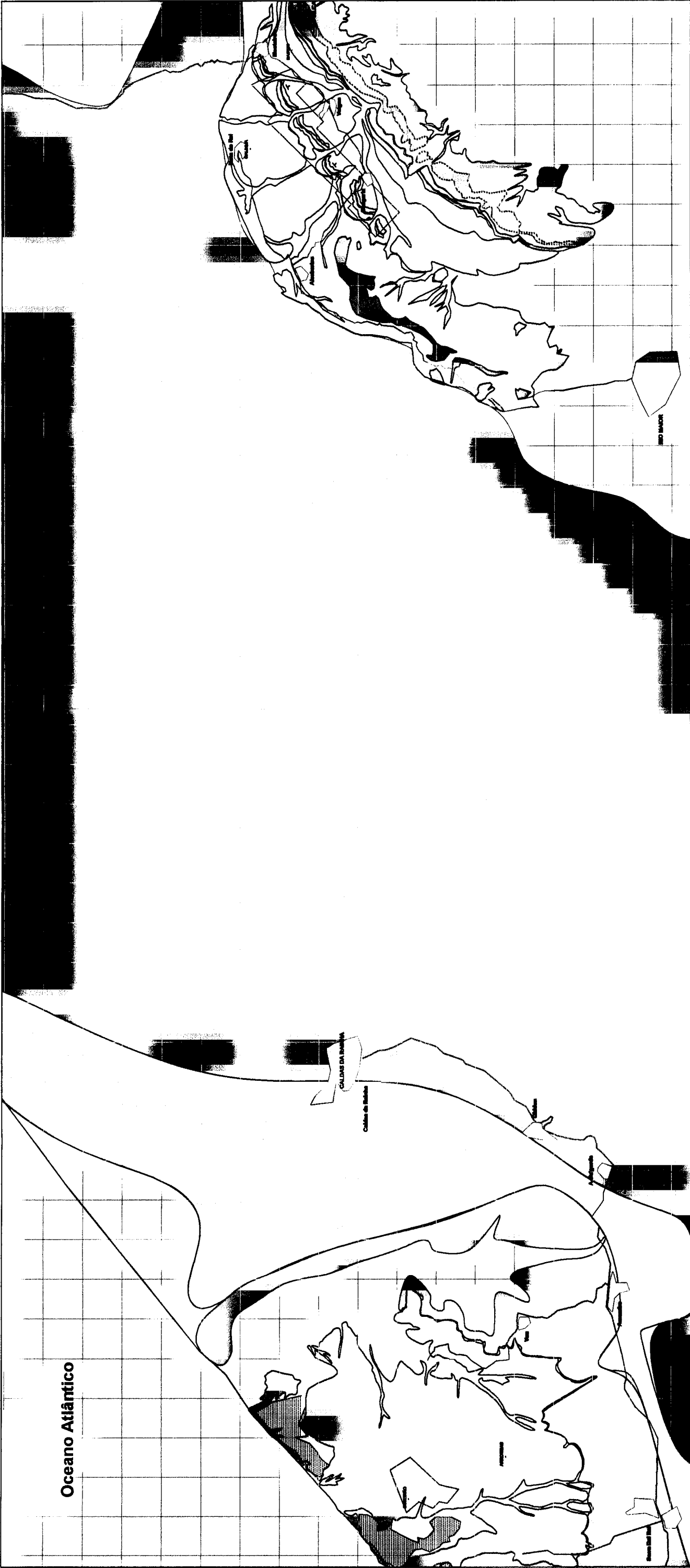
Depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros

325c 337 328 340

26-C 26-D 27-C

Folhas das Cartas Geológicas 1:50.000

Folhas das Cartas Militares 1:25.000



TÍTULO: ANEXO 1 - Geologia da Estremadura

Descrição: Esquema simplificado da geologia da Estremadura, referindo as litologias e o respectivo enquadramento dos depósitos estudados.

ESCALA - 1 : 100.000

Parte integrante da Tese de mestrado com o título: "Prospecção, Valorização e Avaliação do Impacte Ambiental dos depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros - Estremadura".

Adaptado de: Carta Geológica de Portugal 1:50.000 - Folhas 26-C, 26-D e 27-C

Desenhado por: John Maria Pereira

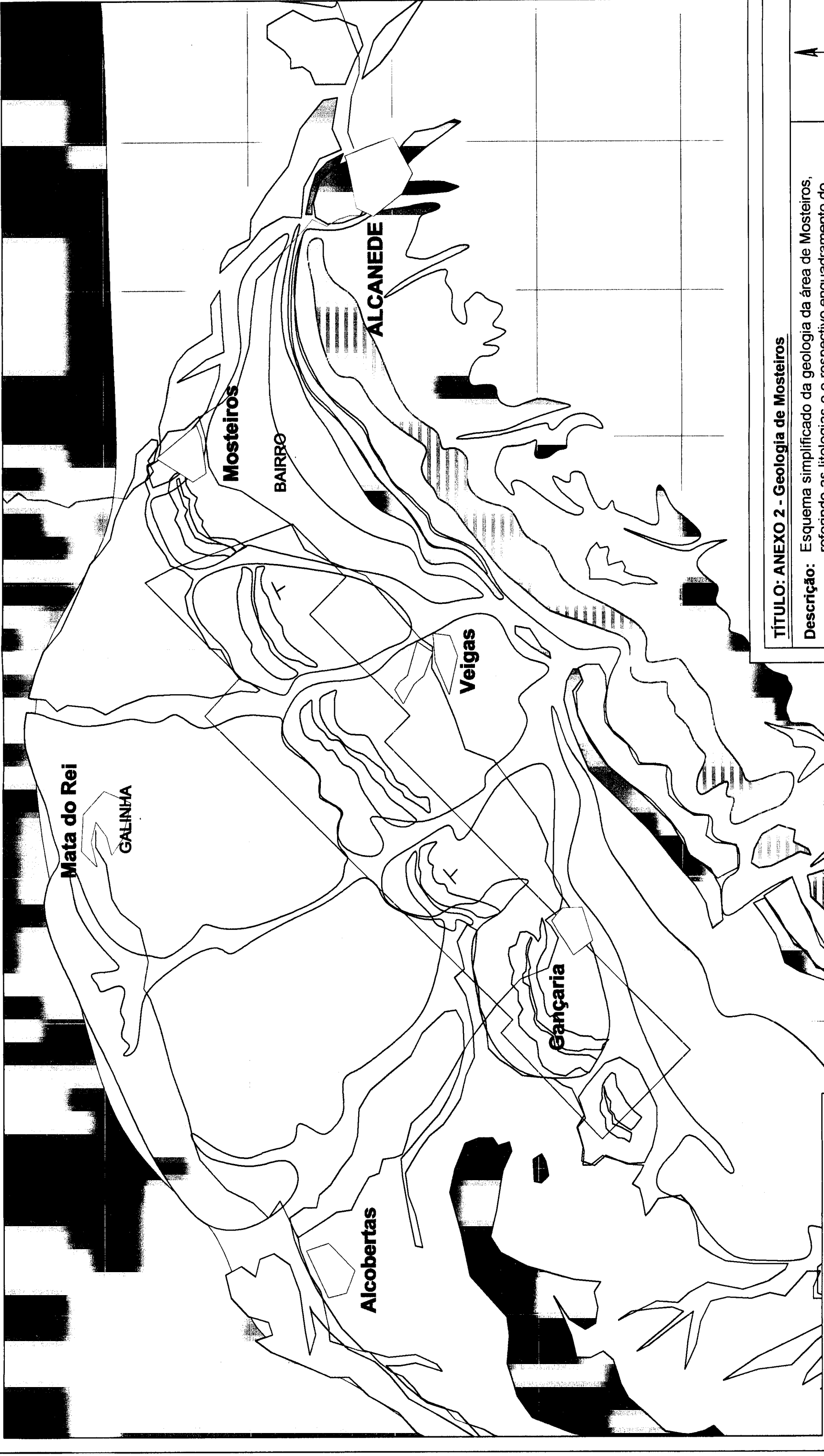
LEGENDA

Áreas de Prospecção e Pesquisa	Áreas de decantação	Paleogénico
Limites das Cartas Militares 1:25.000	Área industrial	Cretácico
Áreas Pedregais	Área de logística e expedição	Jurássico
Perímetros de concessão	Quaternário (Pleistoceno)	Linhas de água
Áreas Minerais	Neogénico	Limites Geológicos

DATA: 30 de Dezembro de 2003



Depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros



TÍTULO: ANEXO 2 - Geologia de Mosteiros

Descrição: Esquema simplificado da geologia da área de Mosteiros, referindo as litologias e o respectivo enquadramento do depósito estudado.

ESCALA - 1 : 25.000

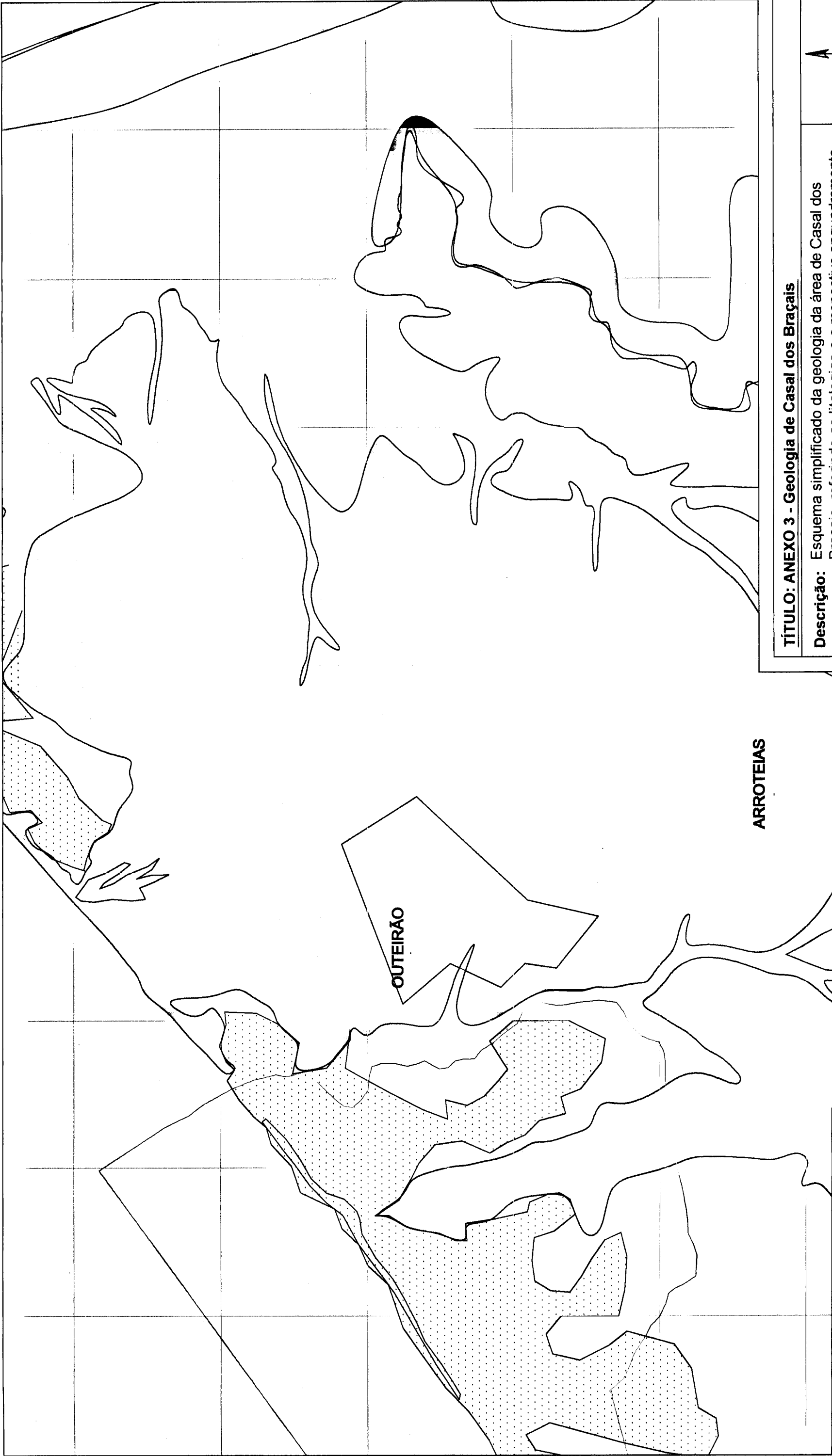
Parte integrante da Tese de mestrado com o título: "Prospecção, Valorização e Avaliação do Impacte Ambiental dos depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros - Estremadura".

Adaptado de: Carta Geológica de Portugal 1:50.000 - Folhas 26-C, 26-D e 27-C

Desenhado por: John Morris Pereira

DATA: 30 de Dezembro de 2003

LEGENDA	
	Áreas de Prospeção e Pesquisa
	Limites das Cartas Militares 1:25000
	Áreas Geológicas
	Perímetros de Concessão
	Anexos Minerais
	Paleogénico
	Neogénico
	Bacias de decantação
	Área industrial
	Área de logística e expedição
	Quaternário (Pleistocénico)
	Paleogénico
	Cretácico
	Jurássico
	Linhas de água
	Limites Geológicos



LEGENDA

- | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------------|--|--------------------|
| | Áreas de Prospeção e Pesquisa | | Bacias de decantação | | Paleogénico |
| | Limites das Cartas Militares 1:25000 | | Área industrial | | Cretácico |
| | Áreas Perdidas | | Área de logística e expedição | | Jurássico |
| | Perímetros de Concessão | | Quaternário (Pleistocénico) | | Linhas de água |
| | Anexos Minerais | | Neogénico | | Limites Geológicos |

TÍTULO: ANEXO 3 - Geologia de Casal dos Braçais

Descrição: Esquema simplificado da geologia da área de Casal dos Braçais, referindo as litologias e o respectivo enquadramento do depósito estudado.

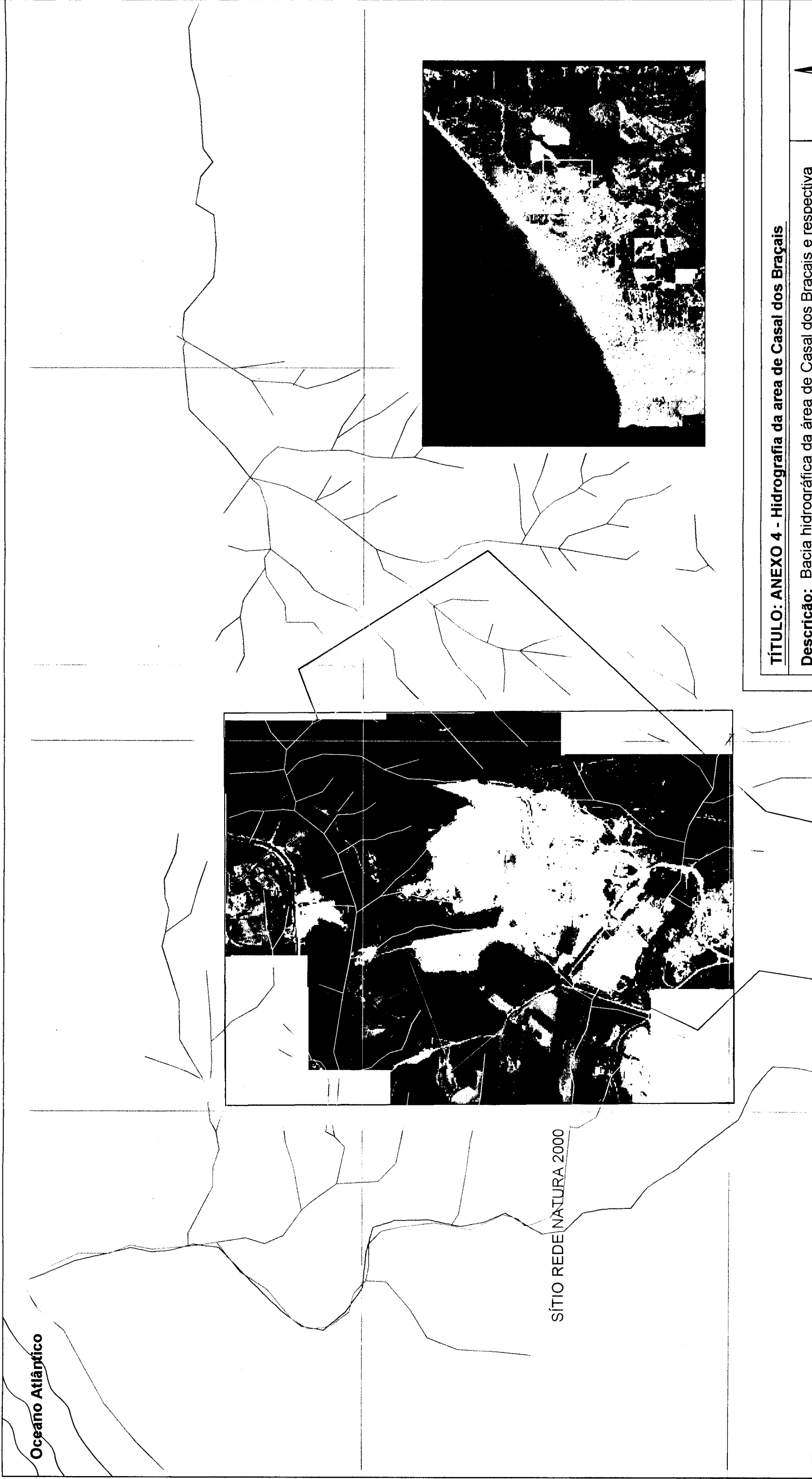
ESCALA - 1 : 25.000

DATA: 30 de Dezembro de 2003

Parte integrante da Tese de mestrado com o título: "Prospecção, Valorização e Avaliação do Impacte Ambiental dos depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros - Estremadura"

Adaptado de: Carta Geológica de Portugal 1:50.000 - Folhas 26-C, 26-D e 27-C
Desenhado por: John Morris Pereira





TÍTULO: ANEXO 4 - Hidrografia da area de Casal dos Braçais

Descrição: Bacia hidrográfica da área de Casal dos Braçais e respectiva interferência da exploração.

ESCALA - 1 : 10.000

DATA: 30 de Dezembro de 2003

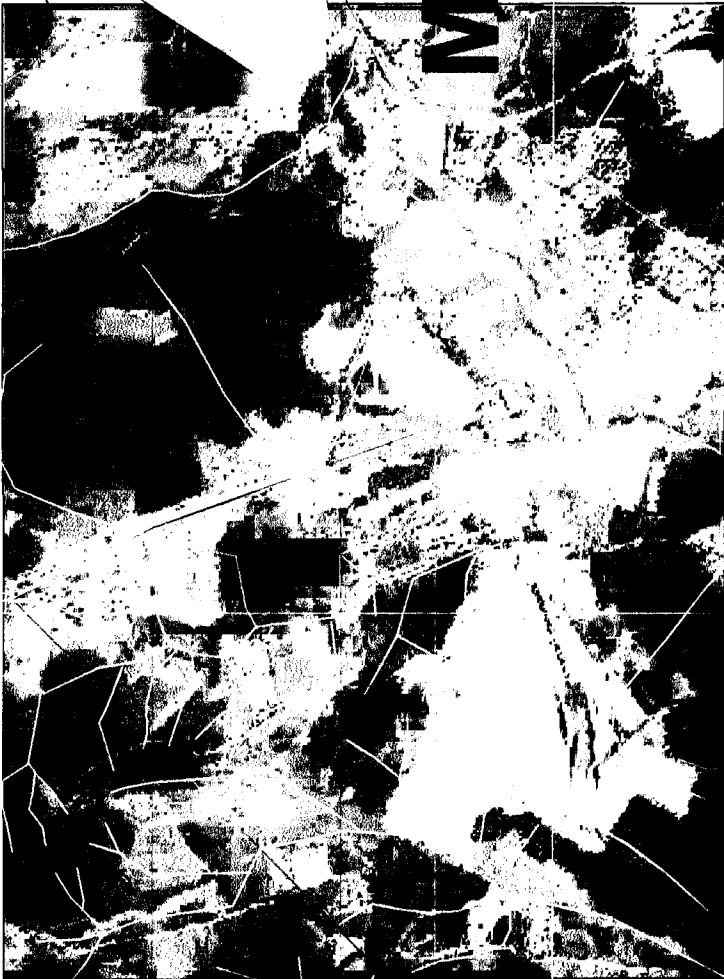
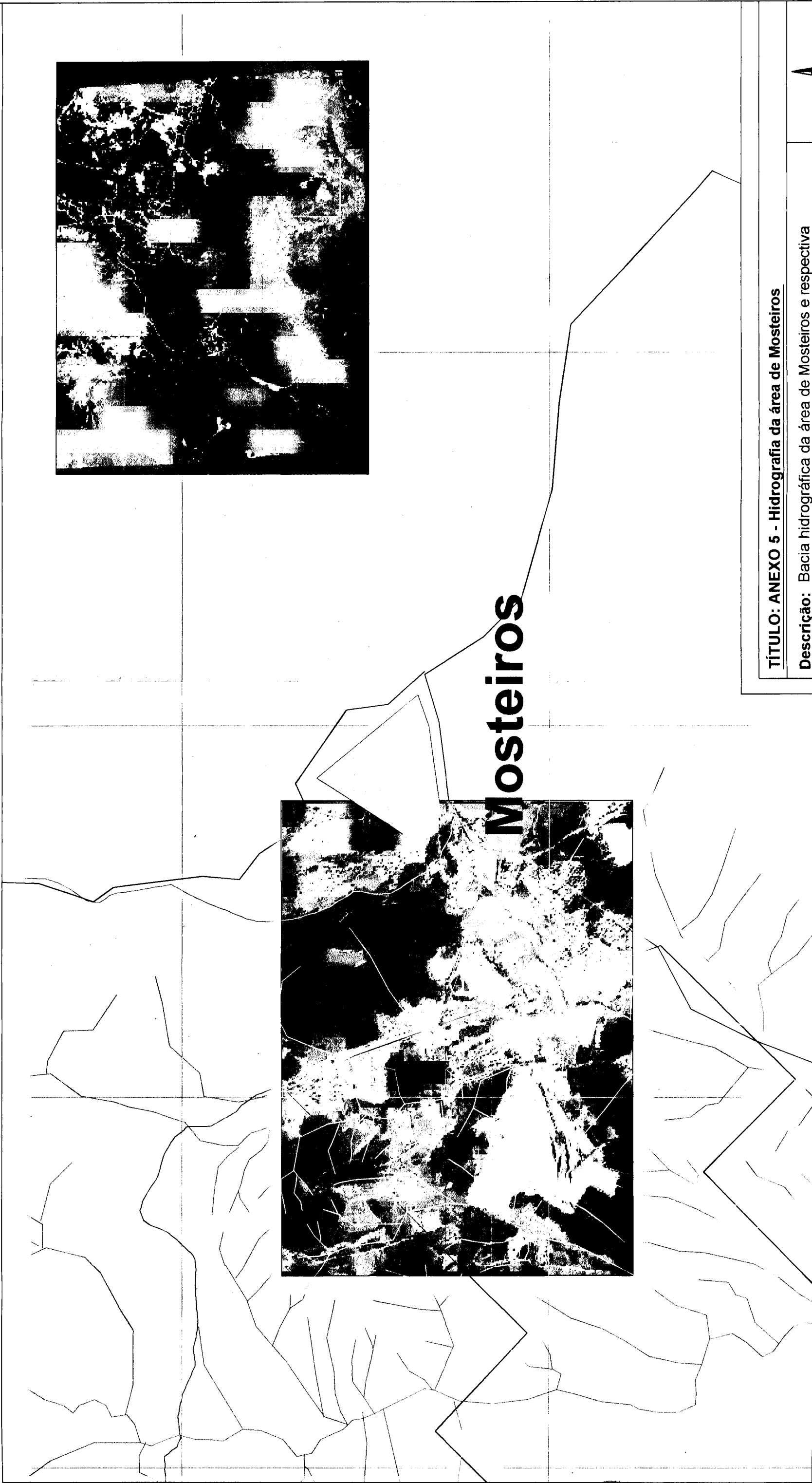
Parte integrante da Tese de mestrado com o título: "Prospecção, Valorização e Avaliação do Impacte Ambiental dos depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros - Estremadura"

Desenhado por: John Morris Pereira



LEGENDA

<input type="checkbox"/> Áreas de Prospecção e Pesquisa	<input type="checkbox"/> Bacias de decantação	<input type="checkbox"/> Paleogenico
<input type="checkbox"/> Limites das Cartas Militares 1:25000	<input type="checkbox"/> Área industrial	<input type="checkbox"/> Cretácico
<input checked="" type="checkbox"/> Áreas Pedregal	<input type="checkbox"/> Área de logística e expedição	<input type="checkbox"/> Jurássico
<input type="checkbox"/> Perímetros de Concessão	<input type="checkbox"/> Quaternário (Pleistocénico)	<input type="checkbox"/> Linhas de água
<input checked="" type="checkbox"/> Anexos Minerais	<input type="checkbox"/> Neogenico	<input checked="" type="checkbox"/> Limites Geológicos



Mosteiros

LEGENDA

	Áreas de Prospeção e Pesquisa		Bacias de decantação		Paleogenico
	Limites das Cartas Militares 1:25000		Área industrial		Cretáceo
	Áreas Perdidas		Área de logística e expedição		Jurássico
	Perímetros de Concessão		Quaternário (Pliocénico)		Linhas de água
	Anexos Minerais		Neogenico		Limites Geológicos

TÍTULO: ANEXO 5 - Hidrografia da área de Mosteiros

Descrição: Bacia hidrográfica da área de Mosteiros e respectiva intferência da exploração.
A Sul a bacia prolonga-se até ao Rio Tejo



ESCALA - 1 : 10.000

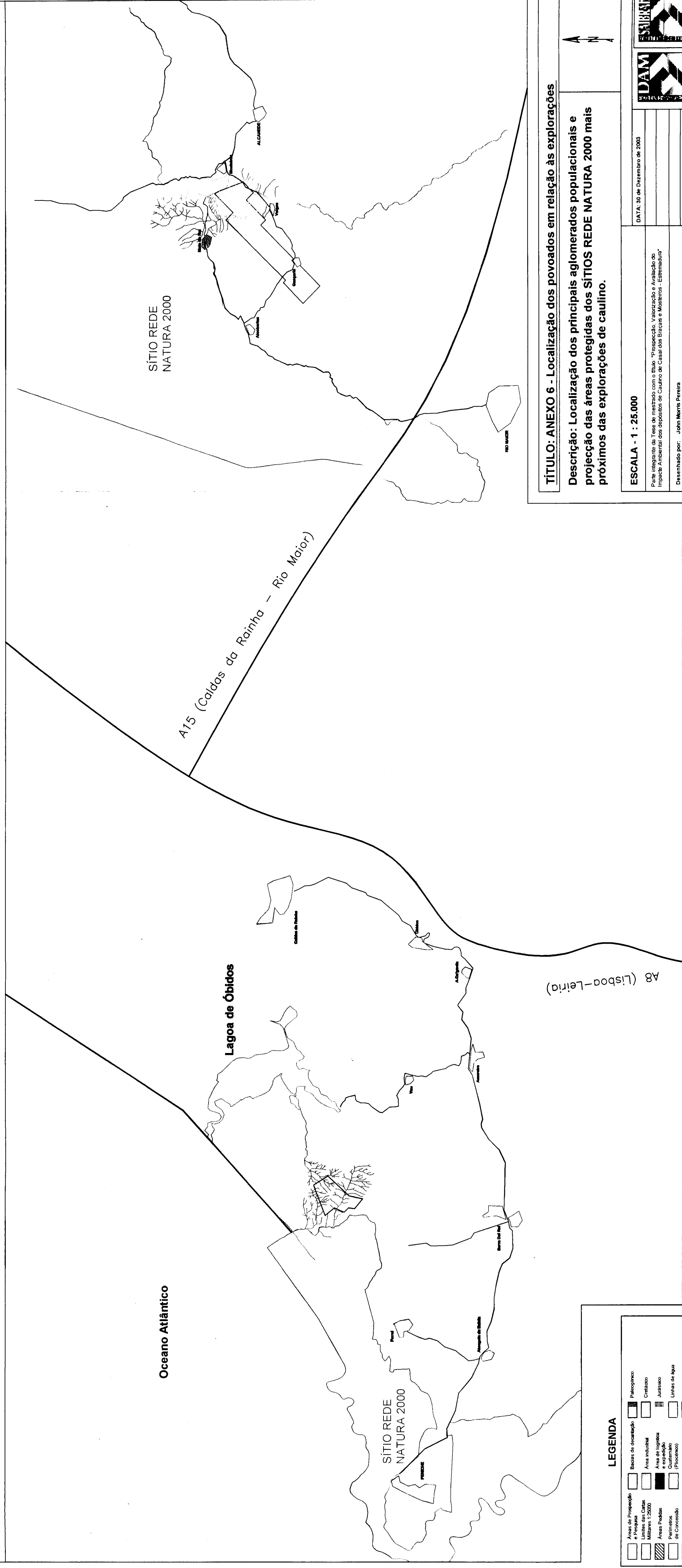
Parte integrante da Tese de mestrado com o título: "Prospecção, Valorização e Avaliação do Impacte Ambiental dos depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros - Estremadura"

Desenhado por: John Morris Pereira

DATA: 30 de Dezembro de 2003



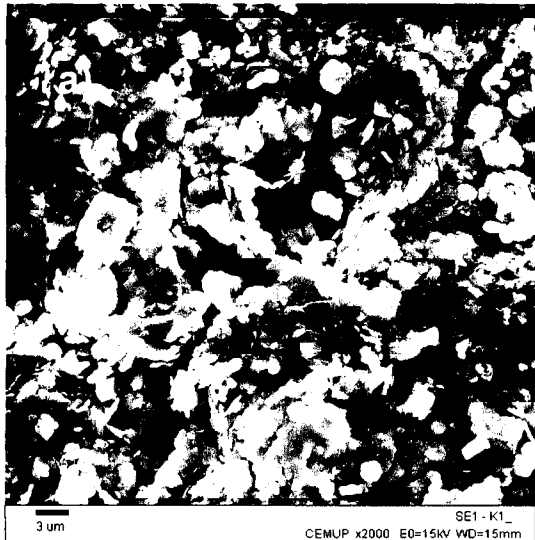
Depósitos de Caulino de Casal dos Braçais e Mosteiros



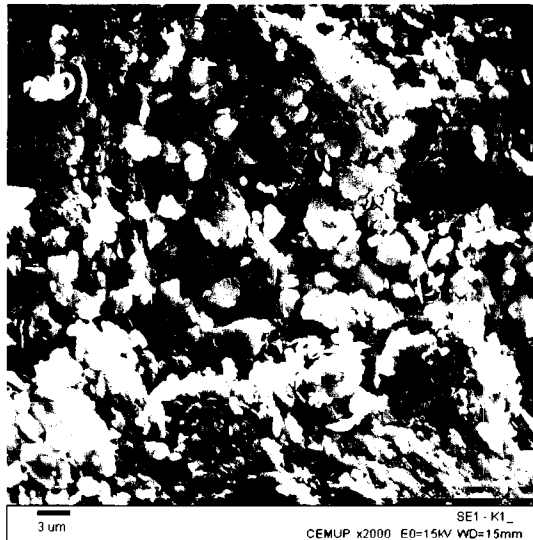
**Anexo 7 – Glossário de imagens de MEV obtidos para o
caulino de Casal dos Braçais**



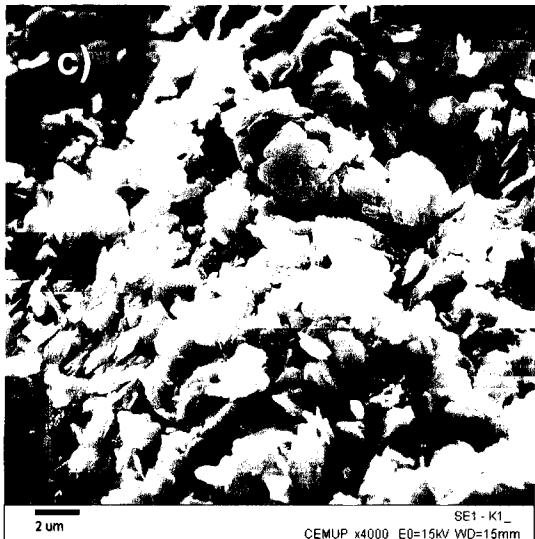
Estampa I – Matrizes de agregados finos de caulinite sedimentar. O tamanho médio das lamelas de caulinite varia das $0.5 \times 0.2 \mu\text{m}$ até $1.5 \times 1 \mu\text{m}$ (a, b, c, d, e, f).



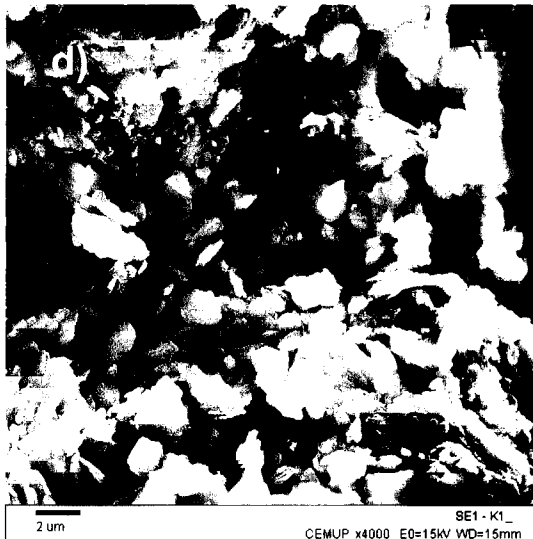
SE1 - K1_
CEMUP x2000 E0=15kV WD=15mm



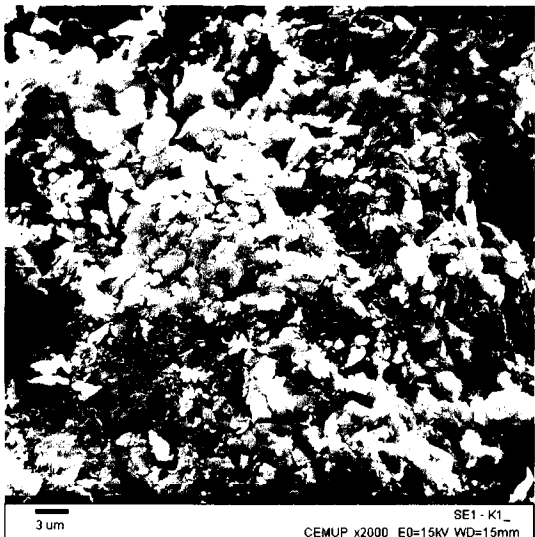
SE1 - K1_
CEMUP x2000 E0=15kV WD=15mm



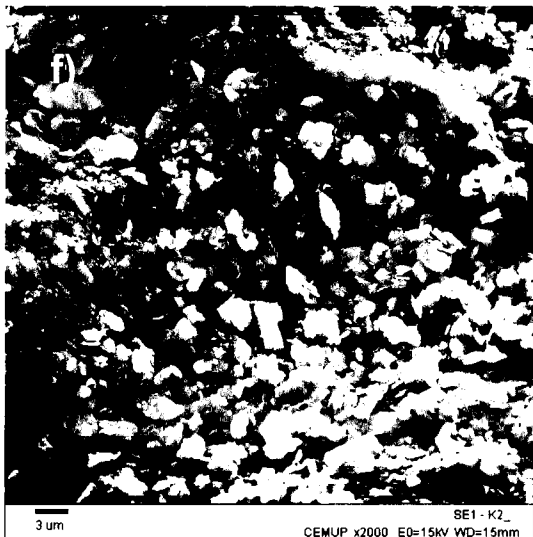
SE1 - K1_
CEMUP x4000 E0=15kV WD=15mm



SE1 - K1_
CEMUP x4000 E0=15kV WD=15mm



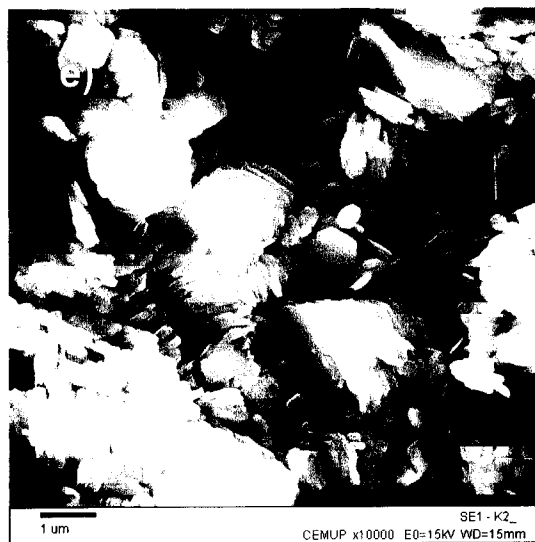
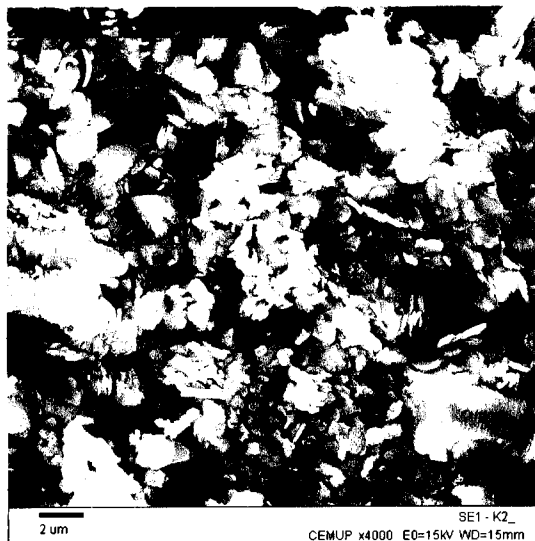
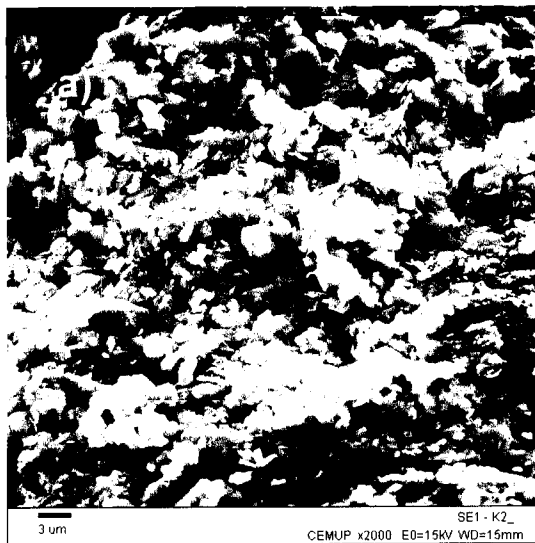
SE1 - K1_
CEMUP x2000 E0=15kV WD=15mm



SE1 - K2_
CEMUP x2000 E0=15kV WD=15mm

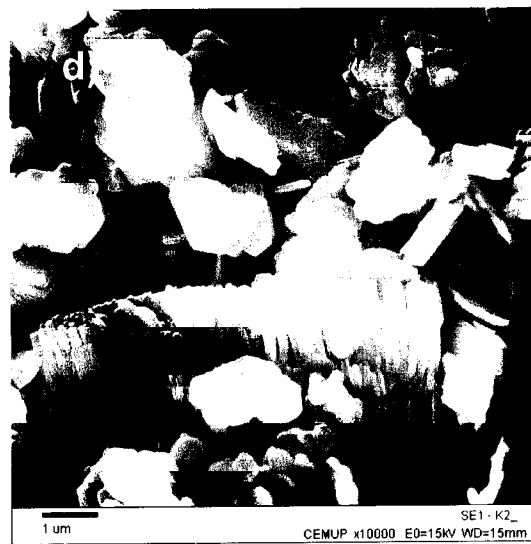
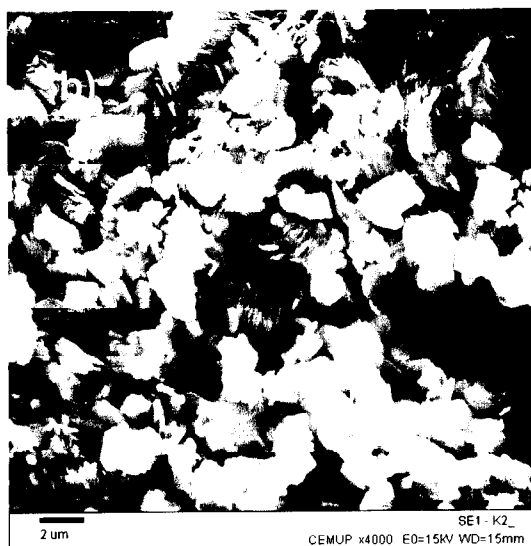
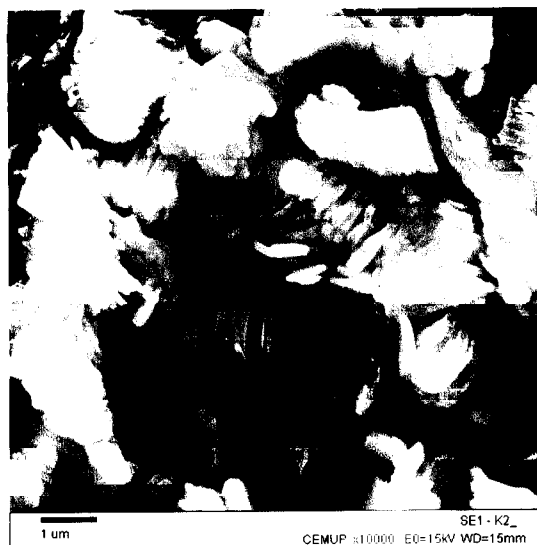


Estampa II – Agregados finos de caulinite (a, b, c).
“Livros” de caulinite constituídos pelo empilhamento
paralelo de lamelas de caulinite (d, e, f). Os livros podem
atingir um comprimento de 4.4 μm (d).



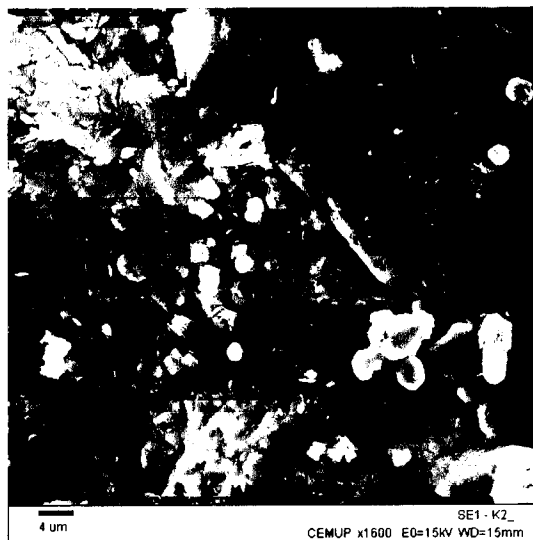
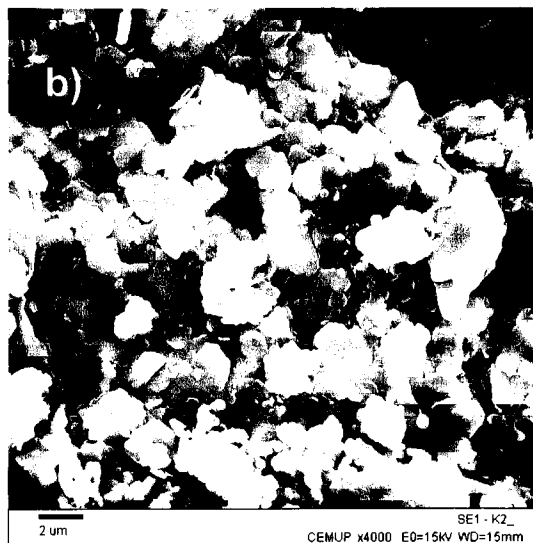
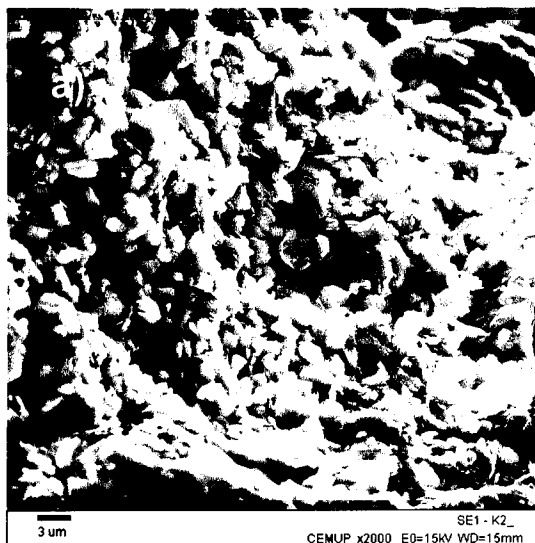


Estampa III - “Livros” e lamelas de caulinite (a, b, c, d,
e, f)



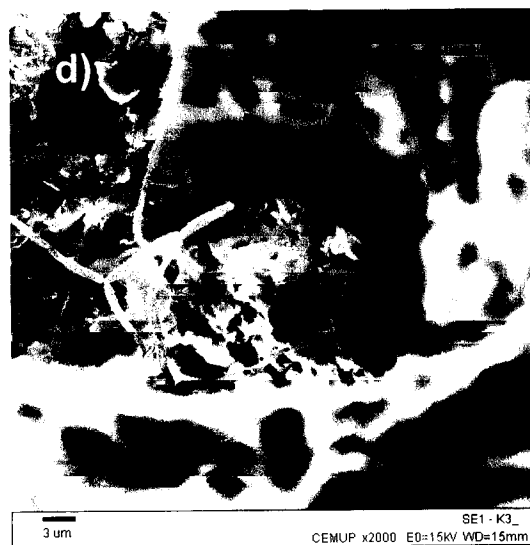


Estampa IV - Lamelas de caulinite numa matriz de agregados lamelares finos (a, b, c). Feldspato (plagioclase) dissolvido (d) e livros isolados de lamelas de caulinite (e, f).



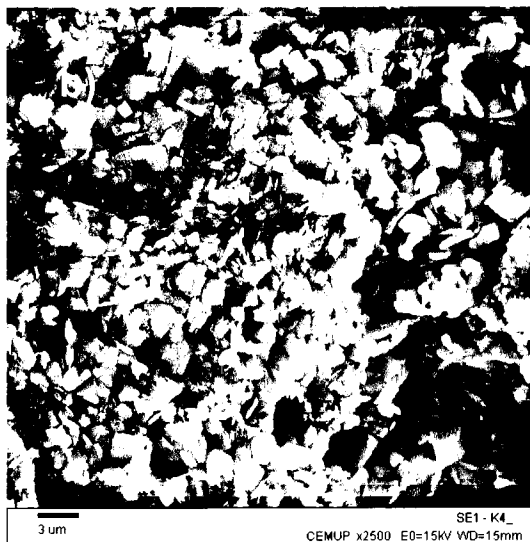
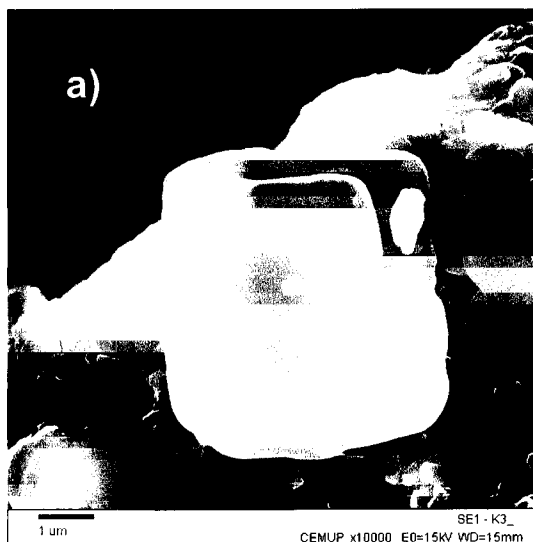


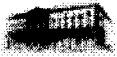
Estampa V – Fases não cristalizadas precursoras na precipitação de caulinite (a). Lamelas de caulinite com uma estrutura desordenado (b). Actividade bacteriológica no caulino sedimentar (c, d). “Livros” de caulinite (e). gibbsite com o habito esférico.



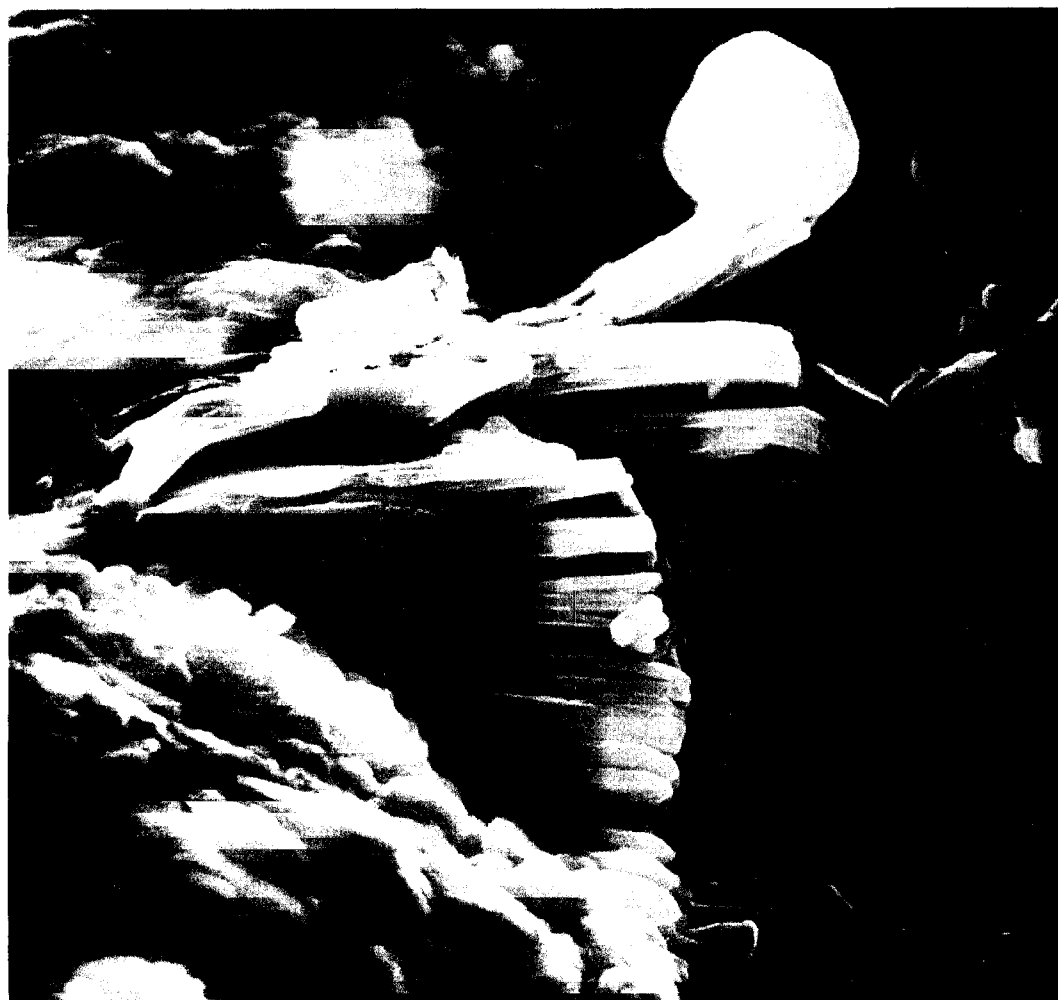


Estampa VI – Cristais de quartzo dissolvidos (a). Agregados lamelares de caulino (b, c). “Livros” de caulinite com uma orientação “caótica” (d, e). Feldspato (plagioclase) dissolvido.





Estampa VII – Livros de caulinite esfoliados (detalhe).



1 μm

SE1 - K4_

CEMUP x10000 E0=15KV WD=15mm